焊接操作要点230条

周飞霓　卢　本　编著





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

焊接操作要点230条

周飞霓　卢　本　编著



机　械　工　业　出　版　社

本书以简明扼要的条文归纳和图解方式，阐述常见现代焊接工艺方法的技术要点和焊接设备的选择、使用要点，是一本实用性较强的焊接技术指南性图书资料。

本书涉及的焊接工艺方法包括：焊条电弧焊工艺、埋弧焊工艺、气体保护焊工艺、钨极氩弧焊工艺、等离子弧焊接与切割工艺、激光焊接与切割工艺电阻点焊工艺、电阻凸焊工艺、电阻缝焊工艺和闪光对焊工艺等。

本书的读者对象是广大的焊接技术工人，也可作为高职高专学校焊接专业师生的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

焊接操作要点 230 条/周飞霓，卢本编著. —北京：机械工业出版社，2009. 11 (2012.1重印)

ISBN 978 – 7 – 111 – 28685 – 1

Ⅰ. 焊…　Ⅱ. ①周…②卢…　Ⅲ. 焊接工艺 – 基本知识　Ⅳ. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 204769 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：吕德齐　责任编辑：吕德齐　版式设计：张世琴
封面设计：姚　毅　责任校对：申春香　责任印制：杨　曦
赤峰彩益印刷有限公司印刷
2012 年 1 月第 1 版第2 次印刷
184mm × 260mm · 14 印张 · 342 千字
4001—5500册
标准书号：ISBN 978 – 7 – 111 – 28685 – 1
定价：29.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

策划编辑：（010）88379733

电话服务
社服务中心：（010）88361066
销 售 一 部：（010）68326294
销 售 二 部：（010）88379203
读者服务部：（010）88379203

网络服务
门户网：http：//www. cmpbook. com
教材网：http：//www. cmpedu. com

封面无防伪标均为盗版

前　言

现代焊接工艺与设备发展的显著特点是:

1）由于电力电子技术、计算机控制技术的飞速发展，随之而来的是国内外对传统焊接工艺与设备全面进行改造和更新，各种高效、优质的自动化、数字化控制的焊接设备相继开发出来。

2）采用激光检测、跟踪技术和其他光电检测等高新技术，改进了多种常规弧焊设备、电阻焊设备的焊缝跟踪精度和焊机的控制功能。

3）在弧焊电源中，全面采用逆变技术取代沿用多年的工频交流电源和整流式弧焊电源。由于逆变弧焊电源具有优良的动态特性，输出多种电流波形的控制功能并容易实现数字化控制，从而使属于熔化极和非熔化极的所有电弧焊工艺的焊接质量有了突破性的提高。随之而来的是开发出多种实用新型数字化控制弧焊设备。例如多品种、多型号、适用于不同管径的自动焊管机。

4）在传统的埋弧焊工艺中，用窄间隙埋弧焊工艺及设备取代中厚板多层多道埋弧焊工艺及设备，以及采用双丝、多丝和热丝等设备来提高单丝埋弧焊设备的效率等等。

5）焊接工作者都有共识：现代焊接制成品的质量，不仅越来越依赖于焊接设备本身的性能，而且与焊接相关的机加工准备工序、热处理工序及其他配套设备密切相关。现代焊接设备的设计特点也注重成套设备的整体功能。

为此，焊接工作的重点，已不再是如何制定传统的焊接工艺流程和选好焊接参数等，而是把侧重点放在了合理选用、正确使用这些新设备，因为一旦在焊接设备方案选定上失误，会给企业带来巨大经济损失。

基于上述现代焊接工艺与设备发展状况，我们编写了本书。本书的编写特点是:

1）突出反映焊接工艺与设备的现代发展情况和高新焊接技术装备的内容。

2）本书主要读者对象是广大的焊接技术工人，因此资料选用上，注重实用性；而阐述尽量简明扼要，内容以要点条文形式列出；全书文稿则采用直观明了的图解方式。

3）涉及传统焊接工艺与设备的书籍和手册资料已很多，因此凡与国内现有焊接书籍和手册资料内容类同的，一般不予考虑，而注重资料的新颖性、实用性和启发性。

如果本书对读者从事焊接工作能打开视野并得到几点启发，那正是编者的初衷。

编　者

目　录

前言
第 1 章　焊条电弧焊 …… 1
1.1　焊条电弧焊工艺方法要点 …… 1
要点 1　掌握焊条电弧焊的特点 …… 1
要点 2　焊条电弧焊引弧动作幅度不宜过大 …… 1
要点 3　焊道焊完时不宜立即拉断电弧 …… 1
要点 4　焊接电流过大对焊缝成形不利 …… 2
要点 5　焊条电弧焊电弧长度不要过大 …… 2
要点 6　焊条电弧焊所用焊条直径不宜超过焊件厚度 …… 3
要点 7　电弧引燃后不宜立即转入正常焊接速度 …… 3
要点 8　焊缝连接处不应出现接头下陷、过高和脱节缺陷 …… 3
要点 9　薄板对接时焊条不宜横向摆动 …… 4
要点 10　焊条电弧角焊的工艺要点 …… 4
要点 11　立焊的工艺要点 …… 5
要点 12　仰焊的工艺要点 …… 6
要点 13　横焊的工艺要点 …… 7
要点 14　直流电源焊接时应避免产生电弧磁偏吹 …… 7
要点 15　焊缝接头坡口钝边不宜太长 …… 7
要点 16　焊件断面上不应有突变接头 …… 7
要点 17　接头间隙较大时不宜放置金属填充物 …… 8
要点 18　厚板焊接工艺要点 …… 9
要点 19　焊条电弧焊接头部位要尽量避免应力集中 …… 10
要点 20　交叉焊件焊缝不宜汇聚在一起 …… 11
要点 21　焊件结构设计不应造成焊条电弧焊操作困难 …… 11
1.2　焊条电弧焊设备选择与使用要点 …… 11
要点 22　焊条电弧焊适用的电源外特性 …… 11
要点 23　碱性焊条、薄板焊接一般采用直流反接电源 …… 12
要点 24　了解现代数字电源使焊条电弧焊工艺性能提高 …… 12
第 2 章　埋弧焊 …… 14
2.1　埋弧焊工艺方法要点 …… 14
要点 25　掌握单丝埋弧焊工艺方法特点 …… 14
要点 26　筒体环缝焊接时焊丝不宜与焊件中垂线重合 …… 15
要点 27　为增加熔深不宜过度增大坡口尺寸和间隙 …… 15
要点 28　焊缝形状特征参数不能超出应有范围 …… 15
要点 29　焊接电流不能过量提高 …… 16
要点 30　在一定电弧功率条件下焊接速度不宜过快 …… 16
要点 31　特殊部位的焊缝不必遵守电弧电压与电流的匹配关系 …… 17
要点 32　电弧电压较低时不宜增加焊丝伸出长度 …… 17
要点 33　焊丝倾角过大对焊缝成形不利 …… 17
要点 34　焊丝偏移量应与焊缝成形相适宜 …… 17
要点 35　焊件厚度较大时不宜采用单面焊接 …… 18
要点 36　船形焊缝的焊接要点 …… 18
要点 37　单面焊双面成形焊缝不宜采用悬空焊 …… 19
要点 38　焊接非等厚度断面的对接缝要避免产生应力集中 …… 19
要点 39　窄间隙埋弧焊工艺要点 …… 20
要点 40　掌握双丝埋弧焊工艺特点 …… 24
要点 41　带极埋弧堆焊工艺要点 …… 27
2.2　埋弧焊设备选择与使用要点 …… 28
要点 42　埋弧焊电源一般选用要点 …… 28
要点 43　双丝埋弧焊不宜全部采用直

流电源 …… 31
要点 44　埋弧焊机机架的选用要点 …… 31
要点 45　埋弧焊机焊头的选用要点 …… 39
要点 46　考查窄间隙埋弧焊机焊嘴的对中系统 …… 43
要点 47　注意环缝防窜辊轮架（转胎）性能 …… 45
要点 48　窄间隙埋弧焊机必须有可靠的焊剂送给与回收系统 …… 45
要点 49　注意埋弧焊机焊丝盘和送丝导管的可靠性 …… 46
要点 50　重要结构焊接的埋弧焊设备必须选用监控系统完善的机型 …… 46
要点 51　悬臂式窄间隙埋弧焊机必须采用控制功能完善的系统 …… 47
要点 52　掌握“马鞍形”焊缝埋弧焊机的技术要点 …… 48
要点 53　带极埋弧堆焊设备要点 …… 53
第 3 章　气体保护焊 …… 57
3.1　气体保护焊工艺要点 …… 57
要点 54　气体保护焊的类型 …… 57
要点 55　一般材料的气体保护焊不采用纯氩气保护 …… 57
要点 56　药芯焊丝气体保护焊不宜采用长弧焊 …… 57
要点 57　如何避免坡口侧壁熔合不良缺陷 …… 58
要点 58　MIG 焊不宜使用单一氩气 …… 59
要点 59　CO_2 气体保护焊不使用普通焊丝 …… 60
要点 60　CO_2 气体保护焊电弧长度不宜太长 …… 60
要点 61　影响气体保护焊熔滴过渡形态的主要条件 …… 60
要点 62　处于任何过渡状态的气体保护焊电弧电压都不宜过低或过高 …… 62
要点 63　焊接电流不宜超出一定的调节范围 …… 62
要点 64　焊丝伸出长度不宜过长 …… 63
要点 65　半自动气体保护焊一般采用左焊法 …… 63
要点 66　焊缝端头的处理手法 …… 63
要点 67　焊道连接时不宜在弧坑处直接引弧 …… 63
要点 68　焊接收尾不应留下弧坑 …… 64
要点 69　几种气体保护焊操作手法 …… 64
要点 70　活泼金属焊接不宜使用活性气体 …… 67
要点 71　MAG 焊氧化性气体含量不宜超过一定比例 …… 67
要点 72　旋转管自动气体保护焊焊枪不宜在正上方 …… 67
要点 73　掌握陶瓷衬垫 CO_2 单面焊双面成形工艺特点 …… 67
要点 74　掌握气电立焊特点和工艺要点 …… 69
要点 75　掌握药芯焊丝气体保护焊的特点 …… 71
3.2　气体保护焊设备选择与使用要点 …… 72
要点 76　了解数字式弧焊电源在气体保护焊中的广泛应用和优势 …… 72
要点 77　注意考查气体保护焊焊机的送丝机构 …… 79
要点 78　注意考查气体保护焊焊机的电弧引弧成功率 …… 80
要点 79　混合气体保护焊不宜使用单层气流喷嘴 …… 80
要点 80　亚射流过渡不宜采用恒压电源 …… 80
要点 81　CO_2 电弧焊短路过渡焊接不宜使用无电抗电源 …… 81
要点 82　自动气体保护焊装备选用要点 … 81
第 4 章　钨极氩弧焊 …… 85
4.1　钨极氩弧焊（TIG）工艺要点 …… 85
要点 83　掌握钨极氩弧的特点 …… 85
要点 84　在一般焊接中应避免使用直流电源反接焊法 …… 86
要点 85　矩形波交流电源钨极氩弧焊负半波通电时间比例不宜过大 …… 86
要点 86　焊接电流较大时不宜采用尖锥角钨极 …… 86
要点 87　气体流量和喷嘴直径不应超出应有范围 …… 87
要点 88　不宜采用过大的焊接速度 …… 87

要点89 喷嘴与焊件距离不宜过大或过小 …… 87
要点90 钨极氩弧焊不宜采用接触引弧方法 …… 88
要点91 特殊材料的焊接不能单靠喷嘴进行通氩保护 …… 88
要点92 氩弧焊接不宜采用简易焊接流程 …… 89
要点93 填充焊丝的操作要点 …… 89
要点94 薄板焊接拼缝不宜预留间隙 …… 90
要点95 仰焊时不得有熔滴产生 …… 90
要点96 管件环缝焊接要点 …… 91
要点97 平焊操作要点 …… 92
要点98 角接焊缝操作要点 …… 93
要点99 横焊操作要点 …… 93
要点100 立焊操作要点 …… 94
4.2 钨极氩弧焊设备选择与使用要点 …… 94
要点101 钨极氩弧焊适用弧焊电源的伏－安特性 …… 94
要点102 铝合金TIG焊接电源选用要点 …… 94
要点103 薄板对接TIG焊接电源选用要点 …… 97
要点104 掌握数字式TIG焊接电源的选用要点 …… 98
要点105 注意TIG焊管机配套电源的引弧成功率 …… 100
要点106 TIG自动填丝焊工艺是全位置TIG焊管机的关键技术 …… 100
要点107 爬行小车全位置TIG焊管机的技术要点 …… 101
要点108 开口式TIG焊管机的技术要点 …… 104
要点109 封闭式TIG焊管机的技术要点 …… 106
要点110 管－板接头自动焊管机的技术要点 …… 109
第5章 等离子弧焊接与切割 …… 112
5.1 等离子弧焊接与切割工艺要点 …… 112
要点111 穿透型等离子弧焊板厚不能超过一定限度 …… 112
要点112 焊接速度太快不能形成小孔效应 …… 112
要点113 焊接电流过大会使熔池金属坠落 …… 113
要点114 较薄焊件一般不用穿透型等离子弧焊接 …… 113
要点115 等离子弧焊起始和终止不得在焊缝上留下孔洞 …… 113
要点116 厚板和低熔点、低沸点金属不宜采用等离子弧焊 …… 114
要点117 等离子弧焊件的装配尺寸不得超过允许公差 …… 114
要点118 等离子弧焊所用混合气体成分和配比应有一定限度 …… 114
要点119 掌握等离子弧切割的特点 …… 114
5.2 等离子弧焊接和切割设备选择与使用要点 …… 116
要点120 等离子弧焊（割）炬喷嘴孔径不宜过大 …… 116
要点121 等离子弧焊时不应存在双弧 …… 117
要点122 等离子弧焊接和切割电源不能通用 …… 117
要点123 不导电的工件不能建立转移电弧 …… 117
要点124 微束等离子弧焊不宜采用单电源供电 …… 117
要点125 大电流工作不宜采用小锥角电极 …… 118
要点126 大功率等离子弧不宜采用普通喷嘴和电极 …… 118
要点127 电极四周分布的高频火花不得小于75%～80% …… 118
要点128 单孔圆柱形喷嘴不利于提高加工效率和加工质量 …… 118
要点129 使用旋涡气流时电极室直径不宜太小 …… 119
要点130 空气等离子弧切割不宜采用单层气流割枪 …… 119
要点131 熔化极等离子弧焊不能取消非熔化极 …… 120
要点132 了解等离子弧切割设备的其他功能 …… 121

第 6 章　激光焊接与切割 ………………… 122
6.1　激光焊接与切割工艺要点 ……… 122
要点 133　掌握激光焊接的机理 ………… 122
要点 134　了解激光焊接的优点 ………… 123
要点 135　激光深熔焊不宜过分降低焊接速度 ……………………………… 126
要点 136　激光焊点表面温度不宜超过材料沸点 …………………………… 127
要点 137　在加工范围内光程长度不宜变化太大 …………………………… 127
要点 138　激光焊接区等离子体的浓度和体积不能太大 ………………… 127
要点 139　激光脉冲焊接时间不宜大于 500μs ………………………… 128
要点 140　激光深熔焊时焊接离焦量不宜太大 …………………………… 128
要点 141　激光焊件的拼合间隙不宜过大 ……………………………… 128
要点 142　焊缝间隙较大时不宜采取自熔焊接 …………………………… 128
要点 143　板材叠焊要求合理设计接头形式 ……………………………… 129
要点 144　薄板焊接不宜采用负离焦 …… 129
要点 145　脉冲缝焊时光斑间距不宜过大 ……………………………… 129
要点 146　脉冲缝焊不宜采用带前置尖峰波形的激光束 ………………… 129
要点 147　激光增丝焊接忌用太高的送丝速度 ……………………………… 130
要点 148　激光焊接不宜采用斜坡口焊件 ……………………………… 131
要点 149　保持熔池稳定不宜使用大流量侧吹气体 ……………………… 131
要点 150　激光深熔焊不宜用纯氩气作同轴保护气体 ………………… 131
要点 151　高效焊接不宜采用激光熔焊方法 ……………………………… 131
要点 152　增弧激光焊电流不宜太大 …… 132
要点 153　细丝焊接激光功率密度不宜太高 ……………………………… 132
要点 154　激光切割应用的限制条件 …… 133
要点 155　激光切割不宜使用线偏振光 … 134
要点 156　激光切割焦点位置不宜远离板平面 ……………………………… 134
要点 157　激光切割速度不应超出一定的范围 ……………………………… 134
要点 158　辅助气流不宜从切割前方导入 ……………………………… 135
要点 159　厚断面切割不宜使用短焦距透镜 ……………………………… 135
要点 160　直接切割熔体流动性较差的材料不易获得无粘渣切缝 …… 135
6.2　激光焊接与切割设备选择与使用要点 ……………………………… 136
要点 161　激光焊接和切割不宜采用高阶模激光束 ………………………… 136
要点 162　注重对激光器长时工作的光斑模式稳定性的考查 ………… 137
要点 163　掌握常见激光器的类型和特点 ……………………………… 139
要点 164　激光焊接和切割不宜使用长焦距聚焦镜 ………………………… 141
要点 165　大功率激光加工不宜采用透射式聚焦系统 ……………………… 141
要点 166　非环状光束不宜采用同轴球面反射聚焦系统 ………………… 141
要点 167　高速切割时不宜使用简易喷嘴 ……………………………… 142
第 7 章　电阻点焊 ………………………… 143
7.1　电阻点焊工艺方法要点 ………… 143
要点 168　深入理解电阻点焊主要工艺参量的调节与作用 ……………… 143
要点 169　不同厚度、不同材料点焊工艺要点 ……………………………… 145
要点 170　多层板点焊的工艺要点 ……… 147
要点 171　特殊材料焊件的点焊要点 …… 148
要点 172　连续点焊时应适当提高焊接电流 ……………………………… 148
要点 173　单面点焊的工艺要点 ………… 148
要点 174　须掌握的焊点质量分析要点 … 149
7.2　点焊设备选择与使用要点 ……… 152
要点 175　深入理解工频交流电阻焊电源与工艺特点 ……………………… 152
要点 176　充分了解工频交流电阻焊电源二次回路感抗对焊接电流

的影响 …… 154
要点 177 多点焊设备选择要点 …… 154
要点 178 充分了解工频交流电阻焊电源功率因数（cosϕ）引发的弊端 … 156
要点 179 充分了解电容储能电源的原理与性能 …… 157
要点 180 关注逆变式电阻焊电源的推广应用 …… 158
要点 181 掌握点焊控制器（箱）的原理与性能要点 …… 159
要点 182 点焊电极的使用要点 …… 167
要点 183 掌握点焊机器人焊钳的类型和应用要点 …… 169
要点 184 了解点焊机器人的换钳技术及应用 …… 174
要点 185 注意某些多点焊并不适宜选用点焊机器人 …… 174
要点 186 了解机器人点焊必须有高精度焊装夹具的配合 …… 174
要点 187 掌握常见点（定）焊装夹具的类型 …… 176
第 8 章 电阻凸焊 …… 185
8.1 电阻凸焊工艺方法要点 …… 185
要点 188 了解电阻凸焊主要工艺参量 …… 185
要点 189 了解凸点为何会位移与降低接头强度 …… 186
要点 190 焊接区体积较大的接头处理 … 186
要点 191 线材凸焊不宜呈平行状接触 … 187
要点 192 管子凸焊应先将两管局部压成 U 形 …… 187
要点 193 滚凸焊凸点不应布置在立板上 …… 188
8.2 电阻凸焊设备选择与使用要点 …… 189
要点 194 了解凸焊设备的主要特点 …… 189
要点 195 凸焊机的一般选用原则 …… 189
要点 196 凸环直径较大时宜采用直流电源焊接 …… 189
要点 197 凸焊机要求专用电极设计 …… 190
第 9 章 电阻缝焊 …… 191
9.1 电阻缝焊工艺方法要点 …… 191
要点 198 掌握缝焊主要工艺参量 …… 191
要点 199 同种材料等厚平板缝焊滚轮直径不能相差太大 …… 192
要点 200 缝焊滚轮直径不能太小 …… 193
要点 201 不宜采用过于宽大的缝焊滚轮 …… 193
要点 202 不同厚度的平板零件缝焊时不宜选用相同直径的滚轮 …… 193
要点 203 曲面缝焊不能选用单一形式滚轮 …… 193
要点 204 滚轮形状不得阻碍金属流动 …… 194
要点 205 获得平滑表面的缝焊方法 …… 195
要点 206 厚板缝焊不宜采用搭接方式 …… 195
要点 207 窄边搭接缝焊搭接量不宜过大 …… 195
要点 208 纵缝与环缝交叉时不宜留有空隙 …… 195
要点 209 小直径圆周缝焊零件不宜过厚 …… 196
要点 210 薄壁管件不宜采用双滚轮缝焊 …… 196
要点 211 周缘缝焊不宜采用窄边滚轮 …… 196
要点 212 镀层薄板缝焊时电极不宜与镀层直接接触 …… 196
9.2 电阻缝焊设备选择与使用要点 …… 198
要点 213 选用缝焊机的一般要点 …… 198
要点 214 注重对缝焊机二次回路的考查 …… 199
要点 215 注重对缝焊机滚轮机械传动部分的考查 …… 200
第 10 章 闪光对焊 …… 201
10.1 闪光对焊工艺方法要点 …… 201
要点 216 闪光对焊的主要工艺参量 …… 201
要点 217 大断面焊件的闪光对焊必须有完善的顶锻控制系统 …… 201
要点 218 无闪光对焊一般焊接质量不高 …… 202
要点 219 闪光对焊时焊件初始接触面不

宜过大 …………………………… 202
要点 220　闪光对焊热输入过量会导致接头质量下降 …………………… 203
要点 221　闪光过程中的电弧现象不利于焊件均匀加热 ………………… 203
要点 222　闪光对焊两焊件断面不宜变化太大 ………………………… 204
要点 223　焊件装夹不应产生轴线的错位或偏斜 ……………………… 205
要点 224　闪光对焊过程中加热和顶锻参数应选择适当 ……………… 205
要点 225　非直线对中接头对焊时夹角不宜过小 ……………………… 206
要点 226　异种金属对焊的焊件伸出长度不同 ………………………… 206
要点 227　环形件对焊的方法 ………… 206
10.2　闪光对焊设备选择与使用要点 ……………………………… 207
要点 228　大型闪光对焊机的选用要点 ……………………………… 207
要点 229　中小型闪光对焊机的选用要点 …………………………… 209
要点 230　铝合金材料闪光对焊机的选用要点 ……………………… 211
参考文献 ………………………………… 212

第 1 章　焊条电弧焊

1.1　焊条电弧焊工艺方法要点

要点 1　掌握焊条电弧焊的特点

焊条电弧焊是用手工操作药皮焊条进行焊接的一种焊接方法，如图 1-1 所示。焊接时，电弧在焊条端部和焊件之间“燃烧”并将其局部加热到熔化状态，在渣、气联合保护下熔滴进入熔池，随着电弧向前移动，熔池金属逐步冷却结晶，形成焊缝。焊条电弧焊是最基本也是最灵活方便的电弧焊工艺方法。但以下场合却不宜采用焊条电弧焊：

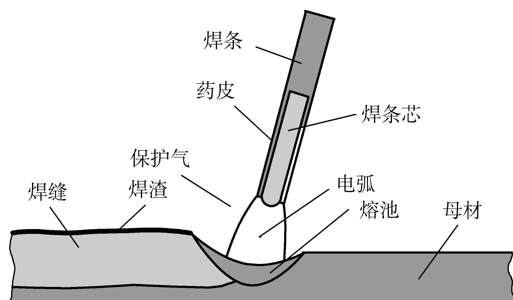


图 1-1　焊条电弧焊工艺方法示意图

1）高效和大批量生产。

2）焊件厚度小于 1mm。

3）活泼金属，如钛、铌、锆等。

4）难熔金属。

要点 2　焊条电弧焊引弧动作幅度不宜过大

引弧动作太快或焊条提得过高，不易建立稳定的电弧或起弧后易于熄灭；如果动作太慢，又会使焊条和焊件粘在一起，产生长时短路，则使焊条过热发红，造成药皮脱落，也不能建立起电弧。其焊条电弧焊引弧方法如图 1-2 所示。

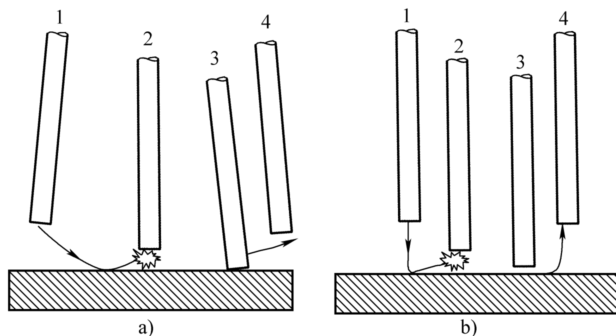


图 1-2　焊条电弧焊引弧方法示意图

a）划擦引弧法　b）直击引弧法

1—焊条初始位置　2—引弧焊条的正确位置　3—焊条短路　4—焊条断弧

要点 3　焊道焊完时不宜立即拉断电弧

当第一道焊道焊完时，如果立即拉断电弧则会形成低于焊件表面的弧坑。过深的弧坑不仅影响外观，而且使焊道收尾处强度减弱，并容易造成应力集中或形成弧坑裂纹（图 1-3a）。常用的焊缝收尾方法有画圆圈收弧（图 1-3b）、回焊收弧（图 1-3c）、反复断弧收弧（图

1-3d)、外接收弧板收弧（图1-3e）等。

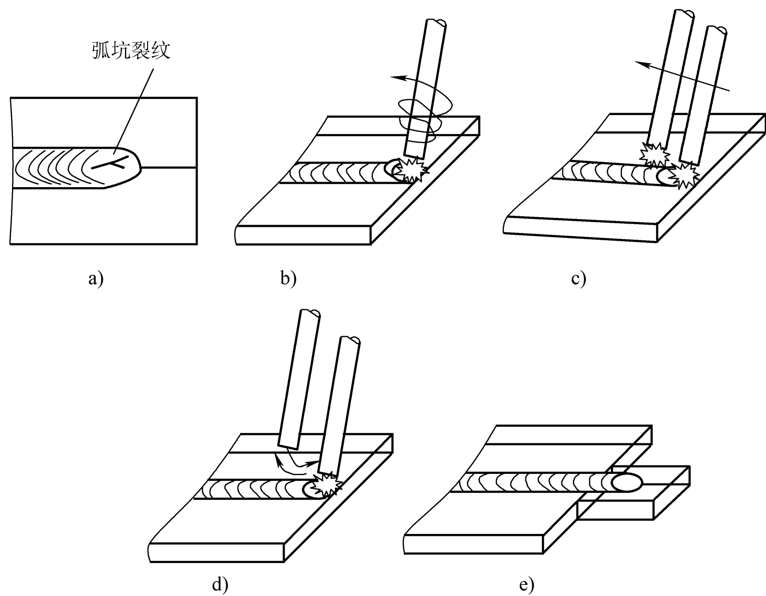


图1-3　收弧方法示意图

a）立即拉断电弧　b）画圆圈收弧　c）回焊收弧　d）反复断弧收弧　e）外接收弧板

要点4　焊接电流过大对焊缝成形不利

焊条电弧焊时使用过大的焊接电流，不仅会使焊条尾部过热，部分涂层剥落或失效，机械保护效果变差，造成气孔、飞溅和凹坑，而且焊接电流太大极易产生咬边和烧穿等焊接缺陷（图1-4）。此外，过大的焊接电流会使接头影响区晶粒粗大，接头力学性能下降。

要点5　焊条电弧焊电弧长度不要过大

焊条电弧焊焊接过程中，电弧过长会使电弧燃烧不稳定，焊缝表面的鱼鳞纹不均匀，焊缝熔深减小，飞溅增加；因外部空气侵入，还会造成气孔等缺陷。因此焊条电弧焊时，电弧长度一般小于或等于焊条直径（图1-5），即应采用短弧焊。特别是采用碱性焊条时，一定要用短弧焊接，才能保证焊接质量。

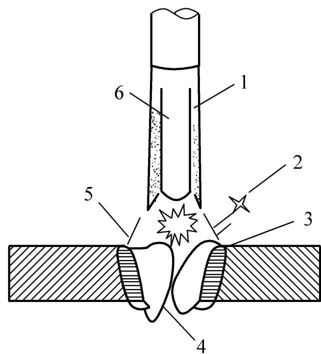


图1-4　焊接电流过大引起的缺陷

1—药皮脱落　2—飞溅过大　3—热影响区大　4—烧穿　5—咬边　6—焊条芯

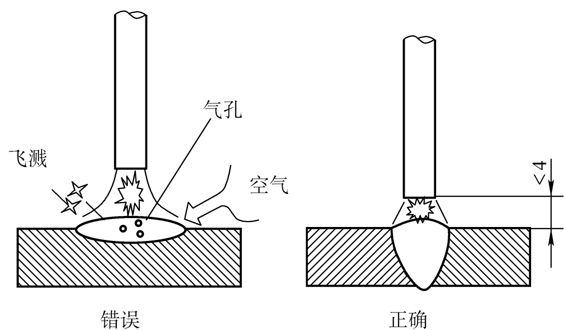


图1-5　焊条电弧焊的合适弧长

要点 6　焊条电弧焊所用焊条直径不宜超过焊件厚度

焊条电弧焊所用焊条直径一般应根据焊件厚度、接头形式、焊缝位置及焊接层数等条件并参考焊接电流大小来选取。

在一般情况下，非平焊位置焊接和开坡口多层焊的第一层应采用较小直径的焊条。

立焊、横焊和仰焊所用焊条直径比平焊时要小。

板厚较大时所用焊条相对较粗，但一般不超过焊件厚度。焊条电弧焊所用焊条直径可参照表 1-1：

表 1-1　焊接参数

焊条直径/mm	1.6	2.0	2.5	3.2	4	5	6
焊接电流/A	25 ~ 40	40 ~ 65	50 ~ 80	100 ~ 130	160 ~ 210	200 ~ 270	260 ~ 300
板厚/mm	≤2	>2≤4		>4≤12		>12	

要点 7　电弧引燃后不宜立即转入正常焊接速度

为减少起头缺陷，应在引弧后将电弧稍微拉长或在离起焊点 8 ~ 10mm 处起弧，对焊缝端头进行必要的预热，或适当摆动，待形成熔池后，再将电弧缩至 2 ~ 4mm，进行正常焊接。焊接重要结构可将焊缝起头移到起弧板上，这样可得到熔深与熔宽都均匀一致的焊道，如图 1-6 所示。

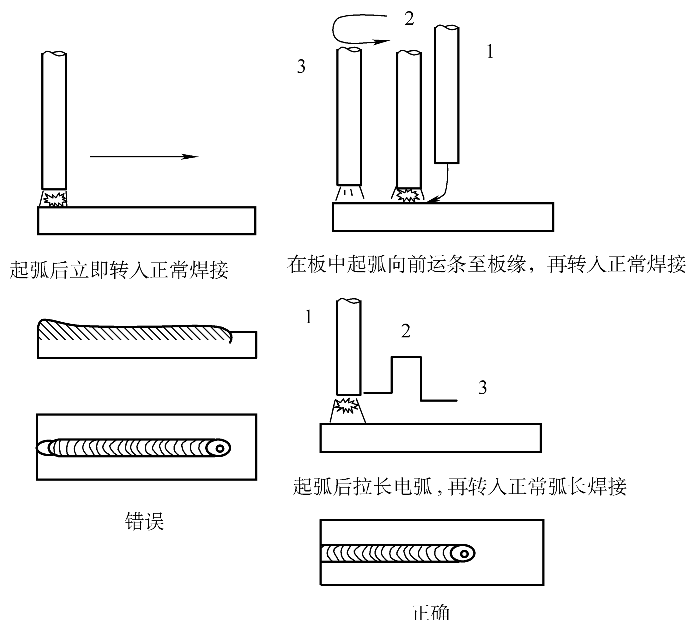


图 1-6　起弧点的处理

要点 8　焊缝连接处不应出现接头下陷、过高和脱节缺陷

由于结构的原因和焊条长度的限制，焊条电弧焊必有焊缝的连接问题。焊缝连接不当会产生接头过高、下陷、脱节和宽窄不一等缺陷（图 1-7）。因此焊缝连接时首先要清除焊渣，并根据焊缝连接的具体情况采取相应措施。

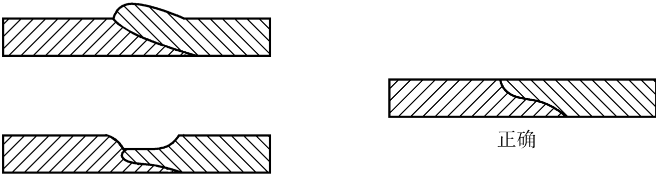


图1-7　焊缝连接的要求

要点9　薄板对接时焊条不宜横向摆动

薄板对接平焊一般可不开坡口。焊接时可较慢地直线运条、短弧焊接。通过调节焊条的倾角和弧长以控制熔渣的运动和熔池成形（图1-8），避免因操作不当引起夹渣、咬边和焊缝不平整等缺陷。

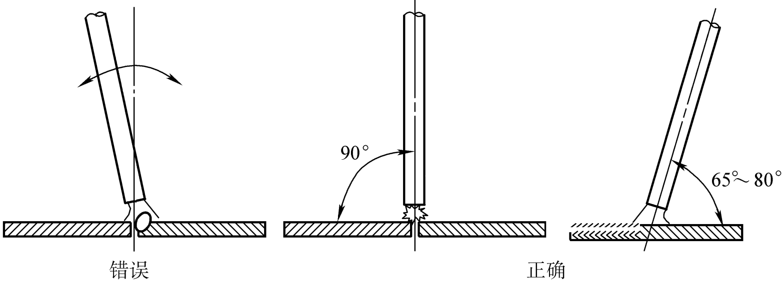


图1-8　薄板焊接焊条的正确位置

要点10　焊条电弧角焊的工艺要点

1. T形接头平焊

焊条在焊接方向上的倾角为65°～80°，电弧的指向应偏向厚板，以使两板加热温度相等，避免电弧对板的加热温度产生太大的偏差。

焊接多层多道焊时，还应根据焊道位置及板厚调整焊条角度，以保证焊缝良好成形。

图1-9a中，给出立板与平板板厚比分别为1、1/2、1/3时的运条角度。

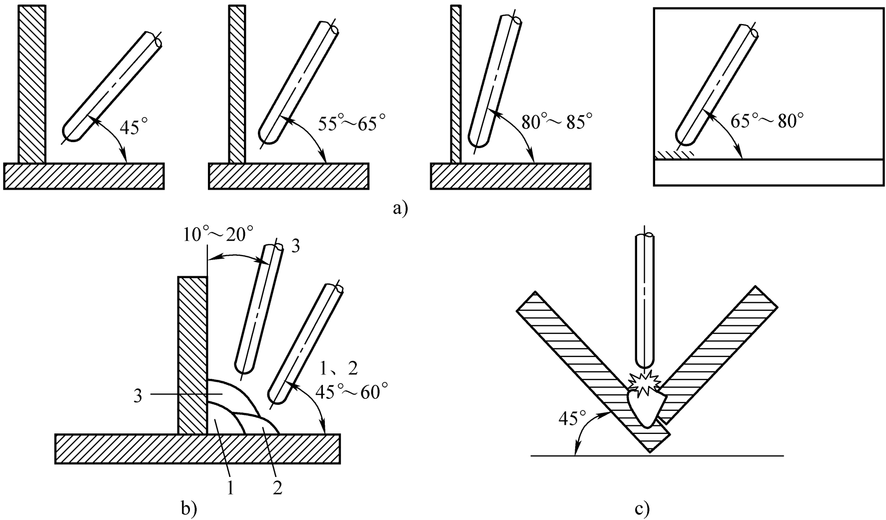


图1-9　T形角接头平焊

a）不同板厚所用焊条角度　b）多层多道角焊时焊条角度　c）船形焊时焊条角度

图 1-9b 中，给出等厚板、三层焊道角焊时的各焊道合适的运条角度。

图 1-9c 中，是船形焊合适的运条角度。

2. 角焊接头平焊

根据角接接头不同坡口形式，采用不同的施焊方法，包括控制焊缝热输入，短弧焊接，电弧偏向竖板一边（图 1-10），以保证焊缝两侧熔化程度相同。

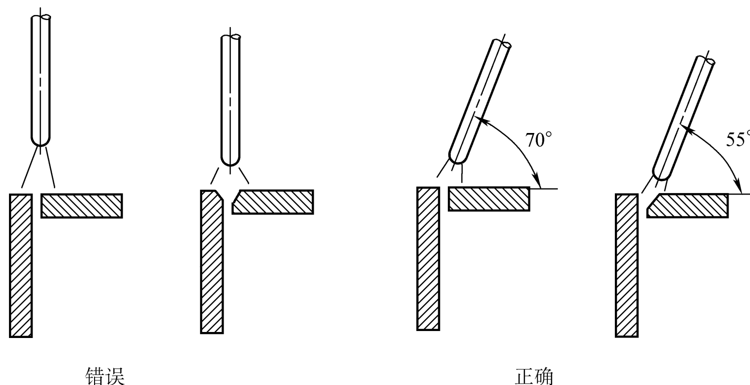


图 1-10　角焊接头的平焊手法

3. 搭接平焊

为避免产生焊缝单边、咬边、顶角焊不透和焊缝夹渣缺陷，应根据两板的厚薄来调整焊条的角度，同时电弧要偏向厚板一边，以便使两边熔透均匀。焊条倾角过大或过小都会使焊缝成形不良（图 1-11）。

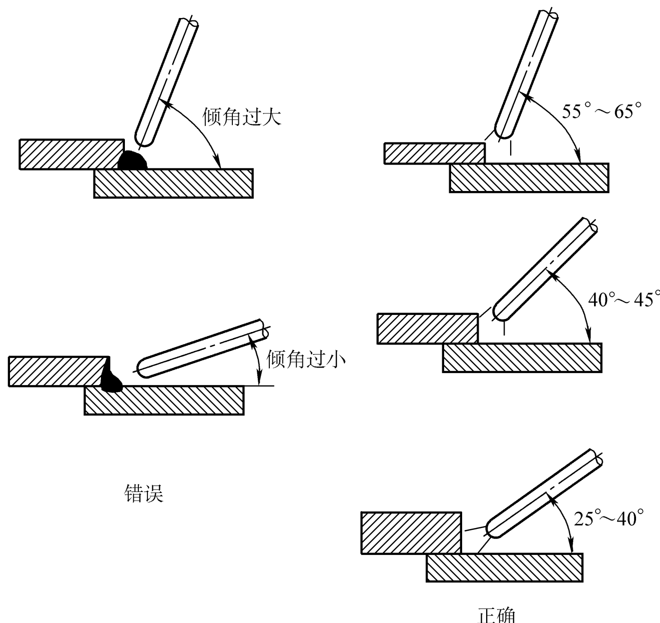


图 1-11　搭接平焊手法

要点 11　立焊的工艺要点

立焊时使用电流过大或焊条向前移动速度太慢，会使熔池过热，金属液不能很快凝固，

将导致焊缝咬边或产生焊瘤；电弧过长、电流太小，熔池温度过低也会产生夹渣和未焊透缺陷。因此立焊应采用适当的运条角度和适宜运条方法，使用较小电流，短弧焊接，以利焊缝成形，如图 1-12、图 1-13 所示。

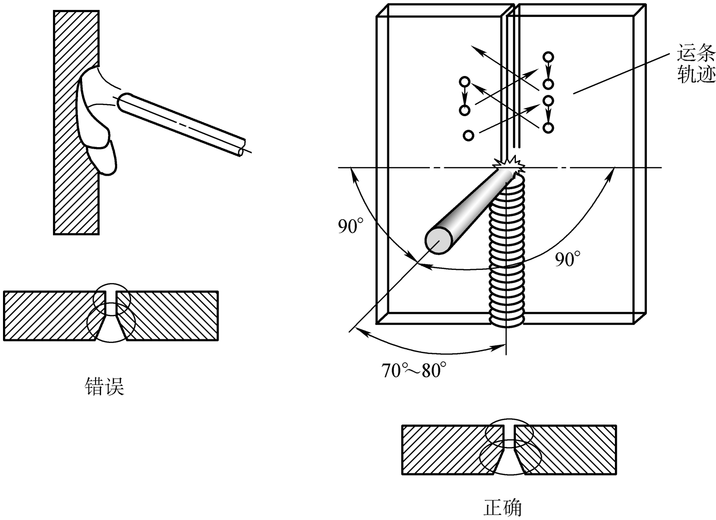


图 1-12　立向平焊手法

要点 12　仰焊的工艺要点

仰焊时，熔池倒悬在焊件下面，焊缝成形困难，容易在下面产生焊瘤，背面产生塌陷。焊接时为使熔滴金属在短时间内由焊条过渡到熔池中去，必须使用最短的电弧长度、较小直径的焊条、稍快的焊接速度及合适的焊接电流；多层焊接时，可采用月牙形和锯齿形运条方式焊接（图 1-14），为控制熔池面积，摆幅不宜太大，焊道应薄一些，以防止产生焊接缺陷。

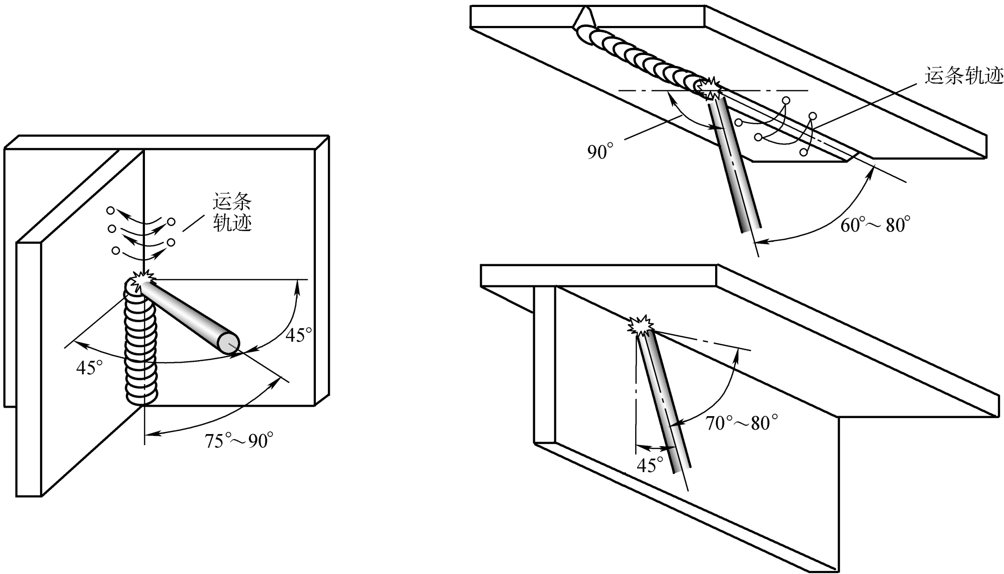


图 1-13　立向角焊的正确焊条方位

图 1-14　仰焊的正确焊条方位

要点 13　横焊的工艺要点

横焊时，熔化金属在重力作用下发生流淌，操作不当易在上侧产生咬边，下侧因熔滴堆积而产生焊瘤或未焊透缺陷，如图 1-15 所示。

施焊时应选择较小直径的焊条，配合恰当的焊条角度和运条方法，以短路过渡形式进行焊接。多道焊接运条的角度还应针对焊缝所在位置，适当改变焊条角度，以使电弧推力对熔滴产生承托作用，才能获得高质量的焊缝。

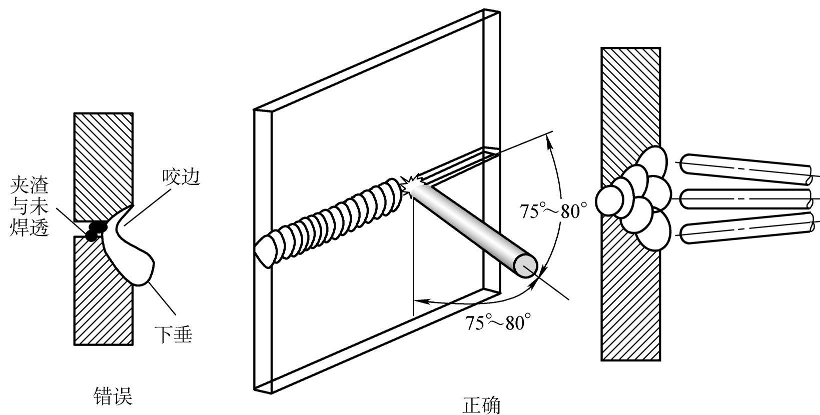


图 1-15　横焊的正确焊条方位

要点 14　直流电源焊接时应避免产生电弧磁偏吹

采用直流电源焊接焊件时，因焊接回路和焊接条件的影响，使电弧周围磁场分布不均匀，焊接电弧将向磁力线较稀疏一侧偏移，造成电弧不稳定，尤以大电流、深坡口、角焊等情况最为严重，如图 1-16 所示。

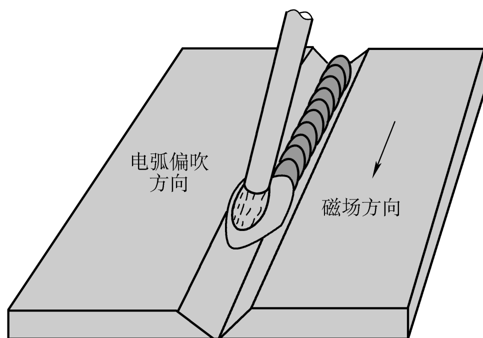


图 1-16　焊接电弧的磁偏吹现象

防止措施有：

1）使用交流电源焊接。

2）正确选择导线接入焊件位置，一般将“地线”接在焊缝中心线附近。

3）调整焊条角度。

4）减小接头间隙，采用短弧焊接等。

5）选用可提高电弧挺度的焊接电源。

要点 15　焊缝接头坡口钝边不宜太长

焊缝接头坡口角度太小、钝边太长、间隙太小，在焊接时易产生接头根部未完全熔透的现象，从而产生未焊透缺陷（图 1-17）。在焊接电流较小、焊接角度不当时，此现象更严重。

要点 16　焊件断面上不应有突变接头

不同厚度钢板对焊时，两板厚度差不应超过允许范围（1～4mm），否则应对厚板做单面或双面削薄，或用堆焊方法使焊接区形成平滑过渡，或将两板中心线对直，以避免断面上有突变的接头（图 1-18），特别对在疲劳工作条件下的焊件尤应引起注意。

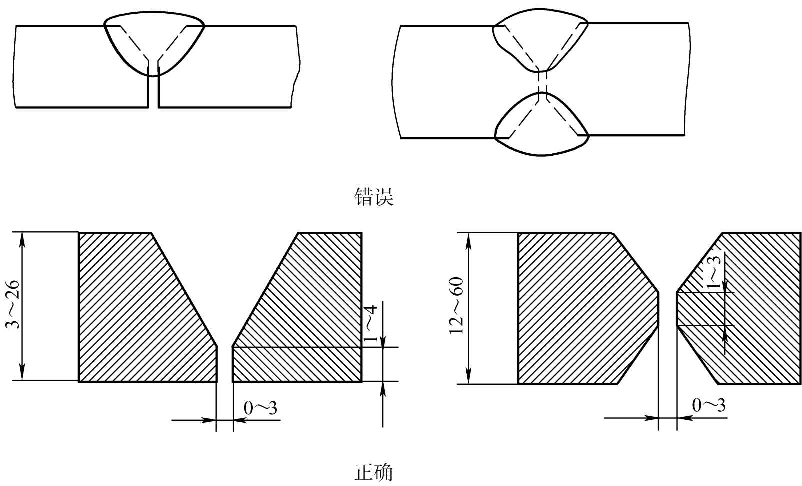


图 1-17　两种典型坡口钝边尺寸

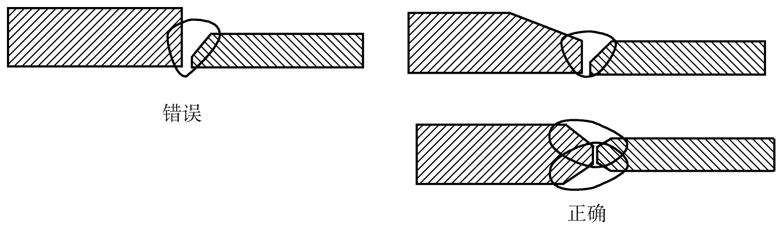


图 1-18　不等厚板对接坡口的处理

要点 17　接头间隙较大时不宜放置金属填充物

接头间隙（根部间隙）是保证焊缝熔透的重要条件。但如果接头间隙过大或坡口过宽，焊接时在间隙中塞入圆铁棒或钢块，必然产生未焊透或使焊脚增高，影响焊件强度（图 1-19）。对根部间隙过大的焊缝，可采用三点焊接法，并应注意焊道顺序。

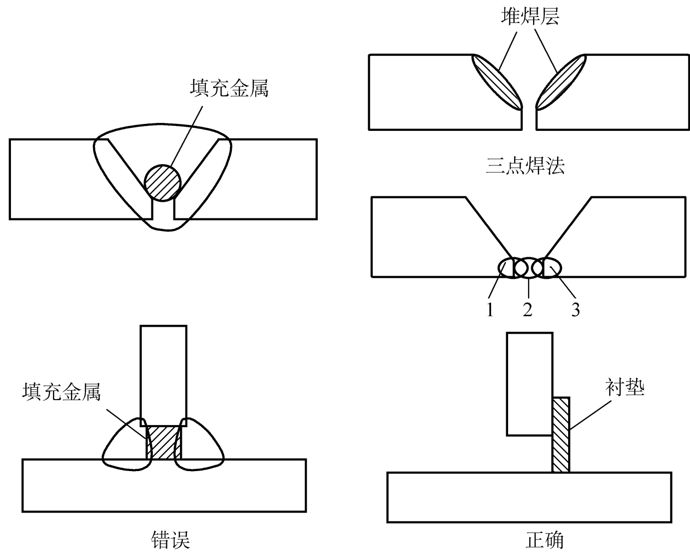


图 1-19　接头间隙较大的处理

要点 18　厚板焊接工艺要点

1. 对接接头

当焊件厚度大于 6mm 时，为了保证焊缝有效厚度及焊透，并为了容纳填充金属、改善焊缝成形，一般应将焊接部位加工成 Y、X、U 等各种形状的坡口，而不宜采用 I 形坡口（图 1-20）。对有坡口的焊件可采用多层焊或多层多道焊。

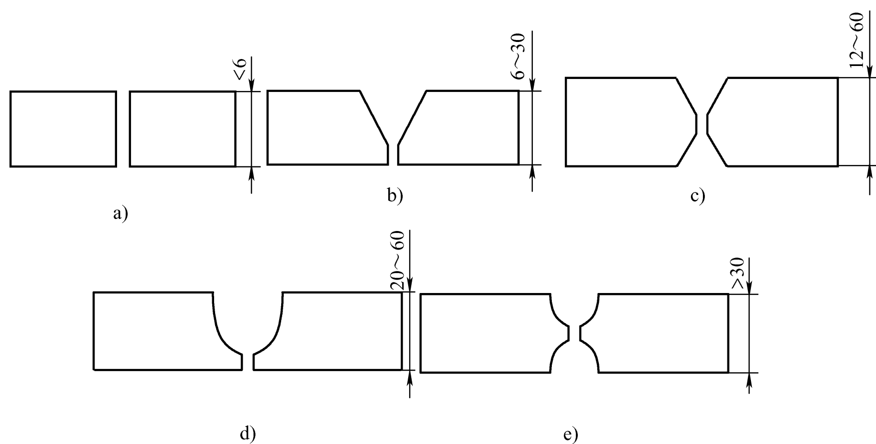


图 1-20　厚板对接坡口

a）I 形坡口　b）Y 形坡口　c）X 形坡口　d）带钝边 U 形坡口　e）带钝边双 U 形坡口

2. 角接接头

角接接头一般用于不重要的焊接结构。板厚在 2mm 以下，角接头常采用卷边形式；板厚为 2 ~ 8mm，则可采用 I 形坡口；厚度较大及重要的结构件应开坡口，坡口形式要根据焊件厚度、结构形式及承受载荷状态确定（图 1-21）。

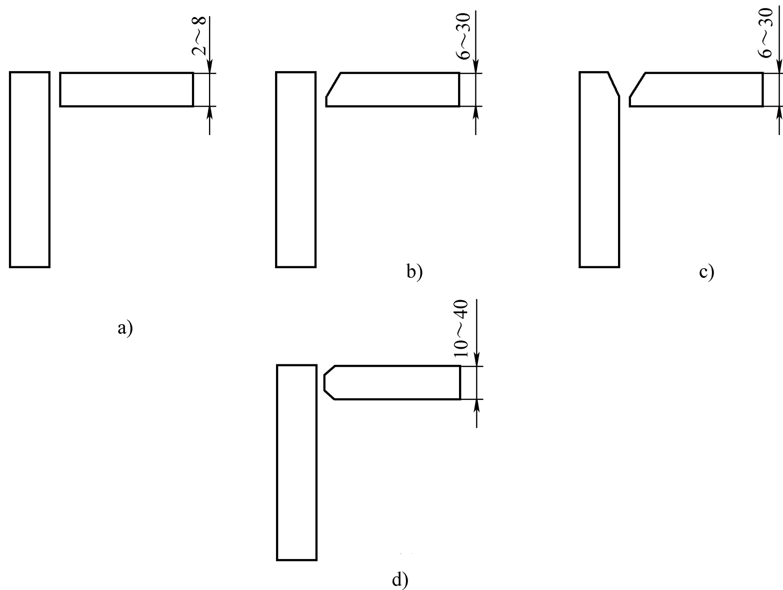


图 1-21　厚板角接坡口

a）I 形坡口　b）单边 V 形坡口　c）Y 形坡口　d）带钝边双 V 形坡口

3. T形接头

对要求承受载荷的T形接头，为了保证焊透，必须开坡口。坡口形式选择要根据焊件厚度、结构强度及焊后变形要求来确定（图1-22）。

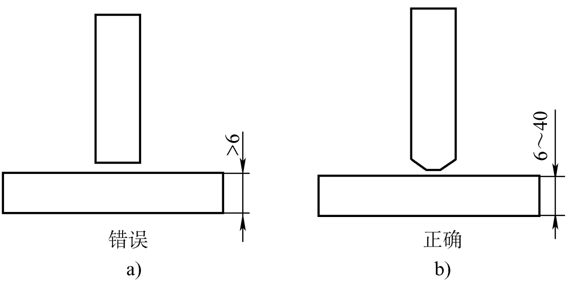


图1-22 厚板T形接头坡口
a）I形坡口 b）带钝边双V形坡口

要点19 焊条电弧焊接头部位要尽量避免应力集中

正确选择焊接结构的接头形式，是提高及保证结构寿命的关键之一。合理的接头形式应根据产品结构、焊件厚度和加工成本等因素确定。从受力方面考虑，要求受力简单、均匀，应尽量避免在接头部位产生较大的应力集中，如图1-23所示。

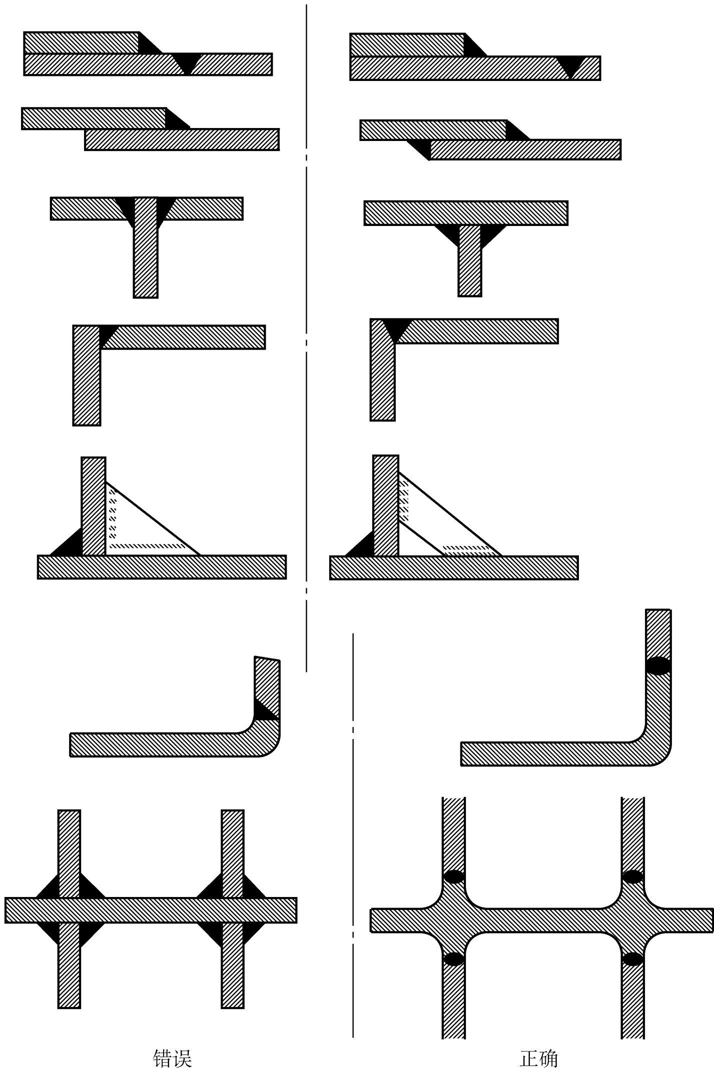


图1-23 减小应力集中的接头形式

要点 20　交叉焊件焊缝不宜汇聚在一起

交叉焊件焊缝不宜聚集在一起，而应以适当方式将其分散（图 1-24）。因为这样可以减少焊件变形并防止产生裂纹，同时也增加了焊件的强度和刚性。

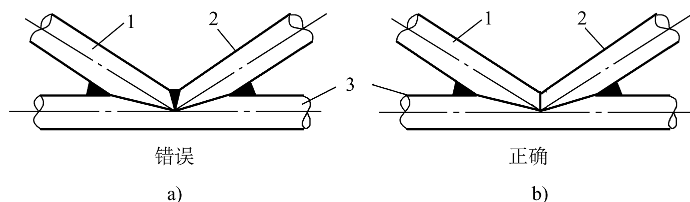


图 1-24　交叉接头的处理

a）1、2、3 一次焊成　b）1、2 是预制件

要点 21　焊件结构设计不应造成焊条电弧焊操作困难

因结构或接头位置设计不当，会造成无法操作或施焊困难（图 1-25），势必导致焊接缺陷。为此，焊接设计应考虑焊条电弧焊操作空间。

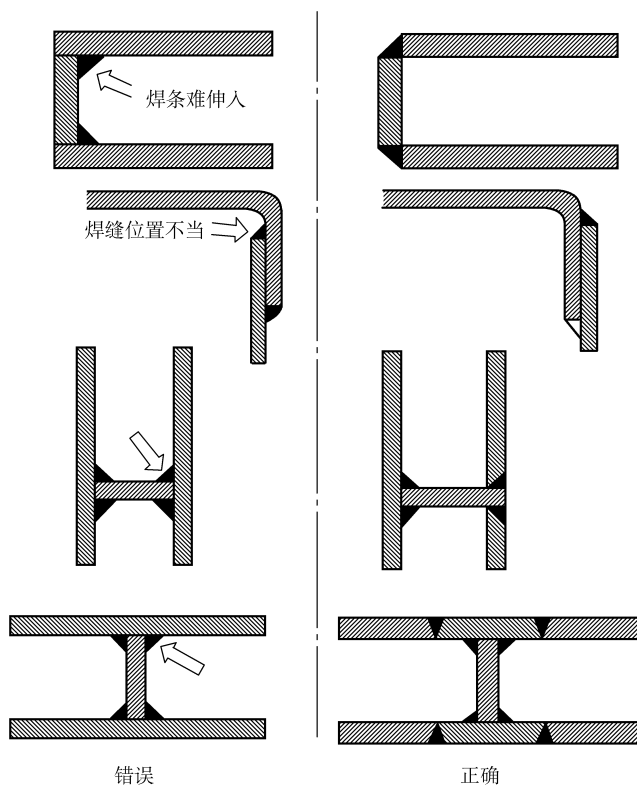


图 1-25　接头设计不当会使操作困难

1.2　焊条电弧焊设备选择与使用要点

要点 22　焊条电弧焊适用的电源外特性

常用的焊条电弧焊电源（图 1-26）通常具有下降的电源外特性。

因为下降外特性电源可以保证电弧的稳定燃烧，其空载电压和短路电流也可以满足一般焊接电流和熔敷速度，焊条电弧焊应当选用具有陡降外特性的弧焊电源，尤以恒流加“外拖”特性电源（图 1-27）为佳。

恒压外特性电源在弧长波动时焊接电流波动较大，使焊接过程不稳定，不宜采用。

要点 23　碱性焊条、薄板焊接一般采用直流反接电源

碱性焊条与强度级别相同的酸性焊条相比，其熔敷金属延性和韧性高、扩散氢含量低、抗裂性能强。

但碱性焊条工艺性较差，采用交流电源焊接，电弧稳定性差、飞溅多，焊缝成形不良。因此采用碱性焊接时，无论薄板还是厚板，均须采用直流反接电源（图 1-28），短弧操作，这样可以增加电弧稳定性，减少飞溅和气孔，提高焊接质量。



图 1-26　一种焊条电弧焊用的逆变电源

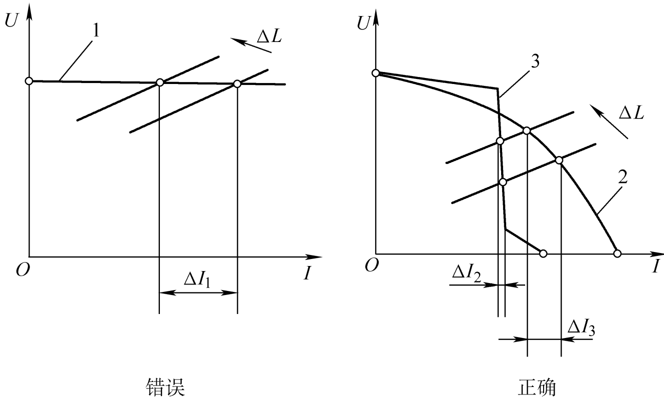


图 1-27　焊条电弧焊适用的电源外特性

1—水平外特性　2—陡降外特性　3—恒流带“外拖”外特性

ΔL—弧长波动　ΔI—电流波动

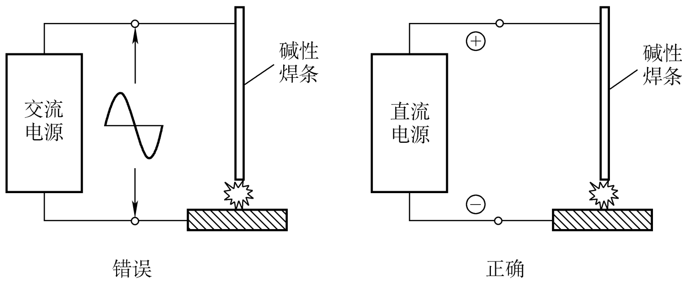


图 1-28　碱性焊条适用直流电源反接法

焊薄板时，为防止焊件烧穿，也应采用直流反接电源。

要点 24　了解现代数字电源使焊条电弧焊工艺性能提高

数字控制弧焊电源具有很好的系统灵活性。

数字控制弧焊电源灵活性一是指系统功能控制“由硬变软”后，再改变系统的配置和

控制参数（如滤波电路与性能、放大电路与增益、波形变换电路与组合等）将变得十分灵活；对于模拟系统来说，达到同样目的，就必须改变电路硬件，这一般来说是很困难的。而对数字系统来说，改变系统的配置和参数可通过改变软件来实现。对数字控制弧焊电源来说，其灵活性还意味着同一套硬件电路可以实现不同的焊接工艺控制，这其中就包括对焊条电弧焊的工艺控制。

主要体现在对焊条电弧焊引弧性能、抗磁偏吹性能、稳弧性能与操作性能的大幅度提高。

数字控制弧焊电源灵活性二是指对于不同焊接工艺方法和不同焊条直径等可以选用不同的控制方式（控制模式）和控制参数，从而使焊机在实现多功能集成的同时，每一种焊接工艺方法的效果也得到大幅度的提高。

例如奥地利 Fronius 公司结合逆变技术和数字信号处理器技术，推出的全数字化 TPS 系列（TPS2700/TPS4000/TPS5000）焊机（图 1-29）。



图 1-29　全数字化 TPS 系列焊机

该系列焊机是数字化控制的弧焊逆变器，其控制系统采用 DSP 芯片监控焊接过程，实现程序化（通过控制面板上的焊接程序按键）、智能化调节参数，大大简化了焊接工艺操作。

可通过事先选用手工焊等多种焊接工艺功能并选用各配套焊枪（MIG/MAG 焊枪、CO_2 焊枪、TIG 焊枪）就可使焊机实现包括焊条电弧焊在内的多种焊接工艺方法。

第 2 章　埋　弧　焊

2.1　埋弧焊工艺方法要点

要点 25　掌握单丝埋弧焊工艺方法特点

单丝埋弧焊指传统的埋弧焊，是以连续送进的焊丝作为电极和填充金属进行焊接的方法。焊接时，电弧在焊剂熔化后形成的液态渣壳内“燃烧”（图 2-1）。液态渣壳将焊丝端部和局部熔化母材金属加以屏蔽，防止焊丝熔滴和母材上金属熔池氧化，从而形成良好焊接质量的焊缝。

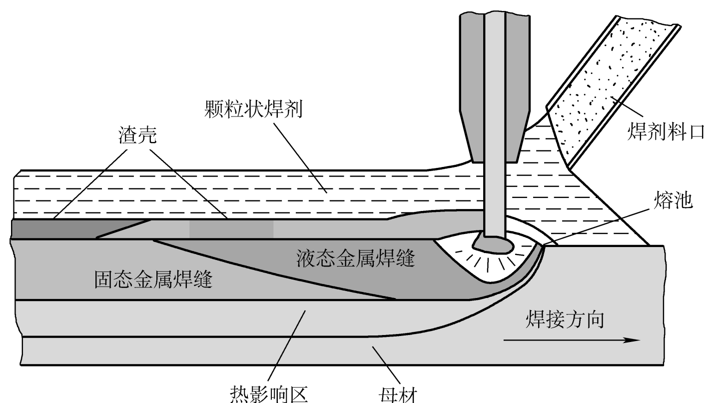


图 2-1　埋弧焊工艺方法示意图

埋弧焊作为较早获得应用的机械化焊接方法，是应用最广泛的焊接工艺方法之一。由于焊接熔深大、生产效率高、机械化、自动化程度高而特别适用中厚板和长焊缝的焊接。

埋弧焊可以采用较大的焊接电流（一般为几百安）。与焊条电弧焊相比，其最大优点是焊缝质量好（图 2-2、图 2-3）、焊接速度高，而且易采用机械化焊接，因而特别适于焊接钢结构件的直缝和环缝焊接。



图 2-2　埋弧焊外表面（盖面）焊缝

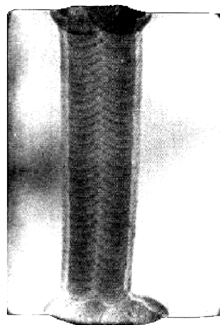


图 2-3　单丝窄间隙埋弧焊缝

由于焊接时形成的渣壳可降低接头冷却速度，埋弧焊不仅可用于碳钢、低合金结构钢和不锈钢的焊接，也在某些低合金高强度结构钢中采用。

要点 26 筒体环缝焊接时焊丝不宜与焊件中垂线重合

为防止熔池中液态金属和熔渣从转动的焊件表面流失，并保证熔池在水平状态下凝固，焊丝的中心线必须偏移焊件中心线一定距离，即外环缝焊接时呈现下坡焊状态，内环缝焊接时呈现上坡焊状态（图 2-4）。而偏离量与筒体直径、焊接速度成正比，一般在 20～60mm 范围内改变；如果焊丝不偏移或偏移量不当，必将造成焊件烧穿、焊缝超高、熔池金属溢流以及焊缝表面成形不良等缺陷。

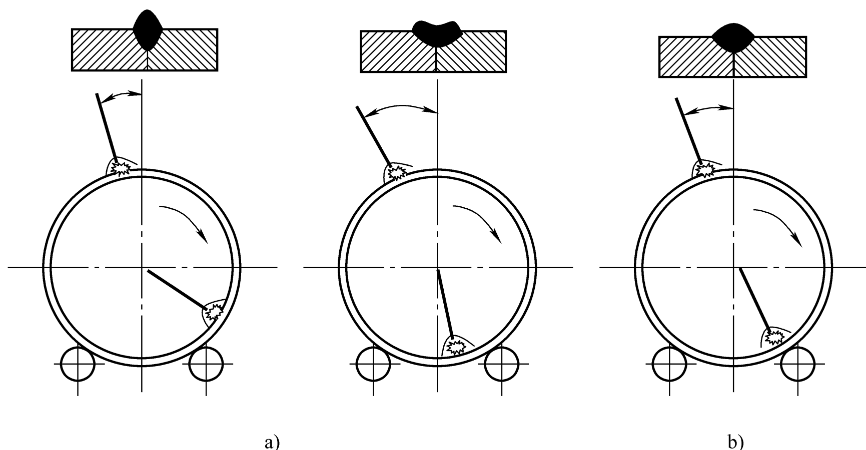


图 2-4 筒体环缝焊接时焊丝的偏移

a）偏移量过大或过小 b）偏移量适当

要点 27 为增加熔深不宜过度增大坡口尺寸和间隙

其他条件相同时，间隙和坡口尺寸增大，会使焊缝的熔深增加，但焊缝的熔宽、余高和熔合比会显著减小。因此，通常用开坡口和改变间隙来控制焊缝的余高和熔合比。但过度增大坡口尺寸和间隙（图 2-5）不仅降低生产率，还会导致焊缝下陷、余高不足或咬边等缺陷。

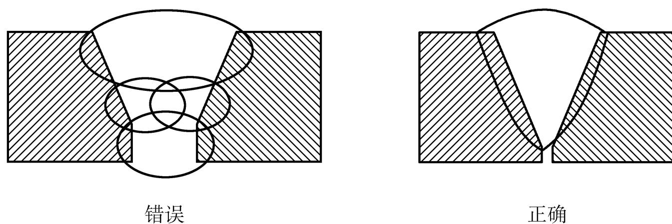


图 2-5 开坡口要规范化

实际上，在现代焊接工艺手册或焊接工艺文件中，对一定板厚的接头形式，根据焊接工艺方法的不同，都有坡口和间隙的尺寸规范。这些尺寸规范的确定，是大量工艺实践资料统计的结果，具有一定的权威性，一般不要随意更改。

要点 28 焊缝形状特征参数不能超出应有范围

焊缝形状特征参数包括熔宽 B、熔深 H、余高 a、熔合比 γ（熔化的母材在焊缝中的比

例，$\gamma=2S_B/(S_A+2S_B)$）、焊缝成形系数 $\phi(\phi=B/H)$ 等。在焊接工艺设计时，焊缝形状特征参数都要求控制在一定范围内：如 $\phi=1.3\sim2$；$\gamma=60\%\sim70\%$（图 2-6）。

超出此范围，焊缝就容易产生未焊透、咬边、热裂纹、气孔、夹渣等缺陷，还将影响焊缝的化学成分、焊缝组织和性能。

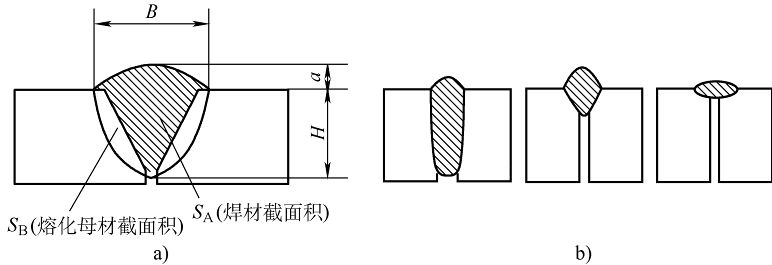


图 2-6　焊缝形状特征参数与错误成形

a）焊缝形状的特征参数　b）不正常的焊缝成形

要点 29　焊接电流不能过量提高

在一定条件下，改变焊接电流可以改变焊丝的熔化速度和焊缝的熔透深度。但是过量地加大焊接电流必然导致焊缝的余高过大和焊缝的熔透深度过量，结果使焊缝成形恶化；同时，这种过量的成形焊缝又加剧了焊缝的收缩，从而引起焊接裂纹、气孔、夹渣等缺陷（图 2-7）和过大的热影响区、过大的焊接变形。因此在增加焊接电流的同时，必须相应提高电弧电压，以保证得到合适的焊缝形状。

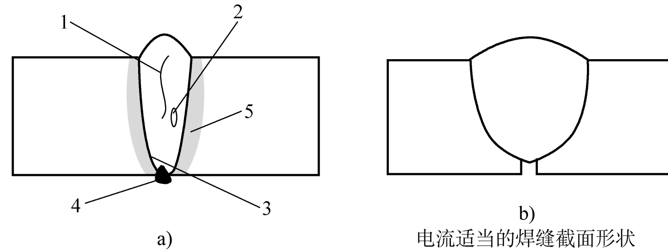


图 2-7　焊接电流过大可能引起的焊接缺陷

1—裂纹　2—气孔　3—夹渣　4—烧穿　5—热影响区过大

要点 30　在一定电弧功率条件下焊接速度不宜过快

在一定电弧功率条件下，焊接速度的变化改变了焊缝的热输入，因而会改变焊缝的熔深和熔宽（图 2-8）。当焊接速度较快时，由于电弧对焊件加热不足，焊缝的熔深和熔宽都会明显减小、熔合比会下降，严重时会造成咬边、未焊透和气孔等缺陷。因此提高焊接速度的同时必须加大电弧功率，以使焊缝的熔深和熔宽保持恒定。

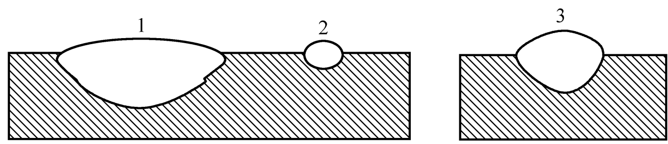


图 2-8　焊接速度对焊缝成形的影响

1—焊接速度过慢时的焊缝成形　2—焊接速度过快时的焊缝成形　3—正常焊接速度时的焊缝成形

要点31　特殊部位的焊缝不必遵守电弧电压与电流的匹配关系

埋弧焊接时，电弧电压是根据焊接电流的大小确定的，即在一定的焊接电流下，要保持弧长不变，以保证使电弧稳定“燃烧”并使焊缝成形合理（图2-9）。但遇以下情况，则要区别对待：

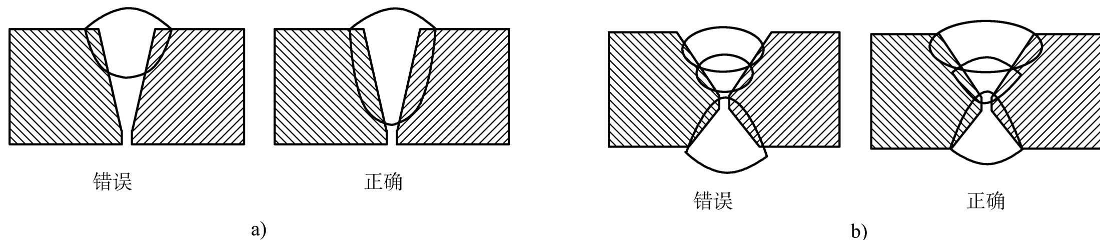


图2-9　特殊部位焊缝的适宜焊接电压

a）弧压过高不适宜深坡口焊缝　b）弧压过低不适宜盖面焊缝

1）多层焊道的表面焊道、装配不良或对接焊缝根部间隙过大时，电弧电压不宜过小。

2）深坡口焊缝不宜以较高的电弧电压焊接。

要点32　电弧电压较低时不宜增加焊丝伸出长度

在焊接电流不变的情况下，加大焊丝伸出长度（图2-10），可以使焊丝的熔敷速度提高25%～50%。但在电弧电压较低时，焊道的熔深和熔宽都将减小，与用正常焊丝伸出长度焊接的焊缝形状完全不同。因此当要求有较大熔深时，不宜将焊丝伸出长度加大；而为提高焊丝熔敷速度要加大焊丝伸出长度，应同时提高电弧电压，以保持适当的弧长。

有预热焊丝功能的埋弧焊可以在不增加母材热输入的条件下，提高焊丝的熔化速度、增加焊丝熔敷量，达到焊接效率提高的目的。

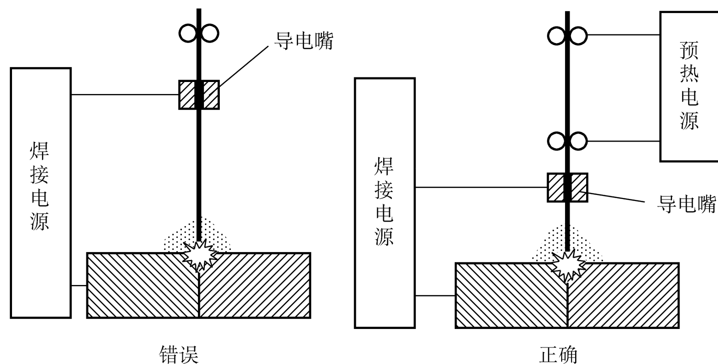


图2-10　焊丝的伸出长度与焊丝的预热

要点33　焊丝倾角过大对焊缝成形不利

焊丝倾角方向和大小不同，电弧对熔池的“电弧吹力”和热作用也不同，从而对焊缝的成形产生不同的效果。在焊接实践中，可通过改变焊丝倾角和方向来调整焊缝的熔宽、熔深及成形系数，但应避免焊丝倾角过大，不然会产生不良的焊缝成形，如图2-11所示。

要点34　焊丝偏移量应与焊缝成形相适宜

当焊接等厚板对接接头时，焊丝应在焊缝中心线上。焊丝如果不对中（图2-12），可能引起未焊透、焊缝偏移等缺陷。而焊接不等厚板的对接接头时，焊丝应偏于厚板一侧，以使

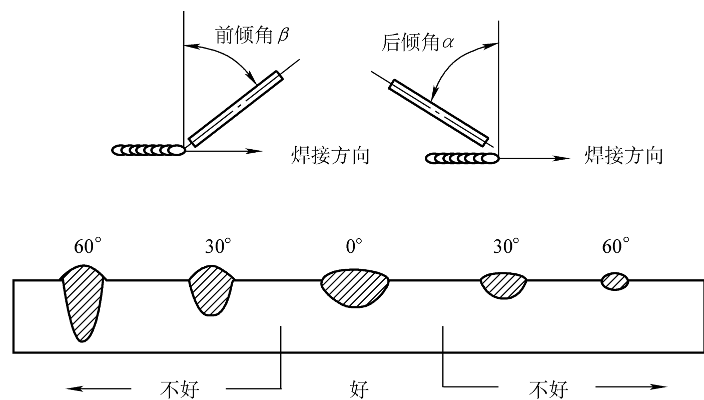


图 2-11　焊丝倾角大小、方向对焊缝成形的影响

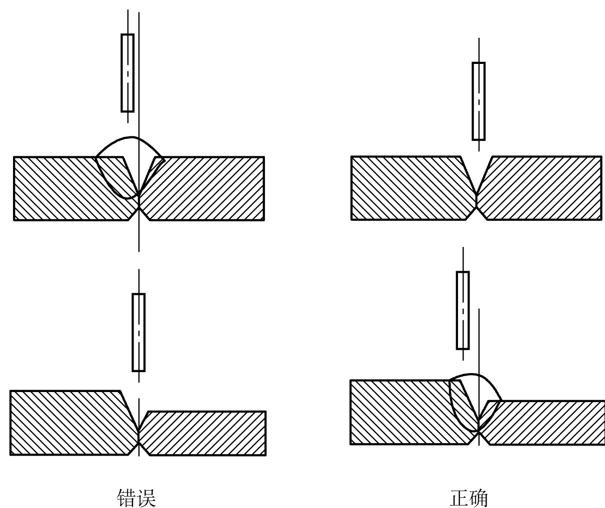


图 2-12　对接接头焊丝的偏移

其熔化速度与薄板相同，从而使焊缝成形合理。

要点 35　焊件厚度较大时不宜采用单面焊接

焊件厚度超过 12～14mm 的对接接头，为获得较好的焊接质量，通常采用双面焊工艺。因为这种焊接方法对焊接工艺参数的波动和工件装配质量的好坏都不大敏感，一般都能获得较好的焊接质量；中厚板双面焊，可采用留间隙双面焊或开坡口双面焊。当板厚大于24mm，一般应开双面坡口，如图 2-13 所示。

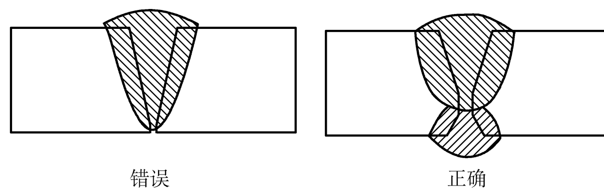


图 2-13　开坡口单、双面焊

要点 36　船形焊缝的焊接要点

船形焊缝对装配要求较低，但焊丝的粗细、焊丝与焊缝的相对位置和角度对船形焊的质

量有较大的影响：

1）船形焊缝焊脚长度不要超过 8mm×8mm，否则会产生金属溢流和咬边，如图 2-14a 所示。

2）焊丝应指向厚板一边，以保证焊缝两边均匀熔透，如图 2-14b 所示。

3）坡角角缝不用较粗的焊丝和较大的角度，否则会产生未熔合缺陷，如图 2-14c 所示。

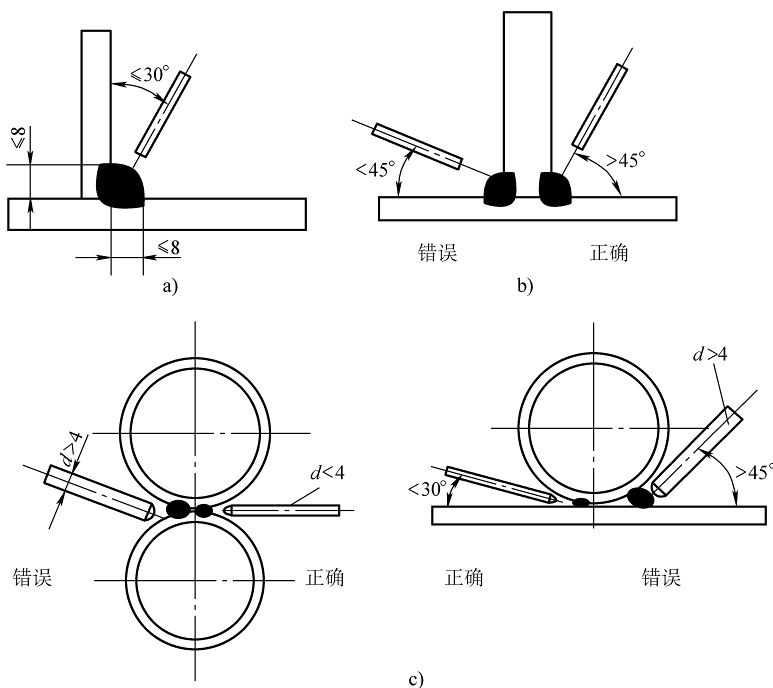


图 2-14　船形焊缝的焊接

a）焊脚长度不超过 8mm×8mm　b）焊丝应指向厚板　c）不宜采用较粗焊丝、较大角度

要点 37　单面焊双面成形焊缝不宜采用悬空焊

埋弧焊可一次焊透 20mm 以下的焊件厚度，由于熔池较大，要想达到一次成形的目的，必须采用强制成形的衬垫，使熔池在衬垫上冷却凝固，否则容易将焊件烧穿。而悬空焊时的熔深，一般不宜超过板厚的 2/3。

单面焊双面成形焊缝可采用以下几种工艺方法（图 2-15）：

1）在铜垫板上焊接。

2）在临时陶瓷垫板上焊接。

3）在焊剂垫板上焊接。

4）在永久性垫板上、或锁底焊。

要点 38　焊接非等厚度断面的对接缝要避免产生应力集中

不等厚度钢板对接焊的受力接头，如果两板厚的偏差超过了标准规定的范围，其坡口尺寸按厚板的厚度选择（图 2-16）。或者，将厚板单面或双面削薄与薄板等厚。这样可避免因对接焊接头处的断面突变而产生的应力集中。

$$L \geqslant 3(\delta_2 - \delta_1)$$

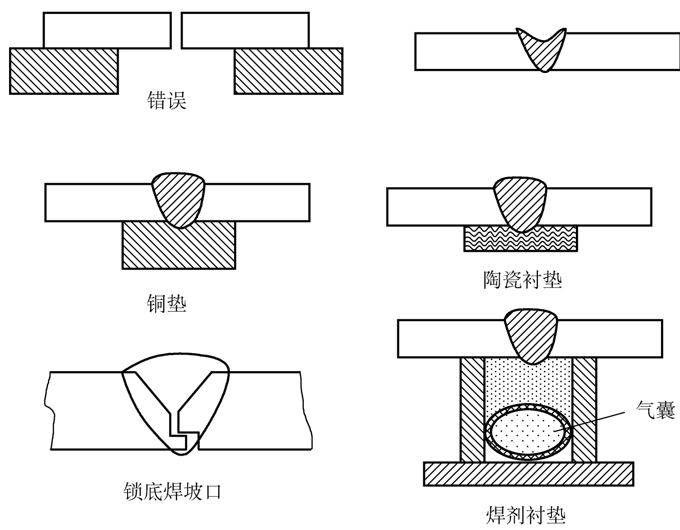


图2-15　几种单面焊双面成形法

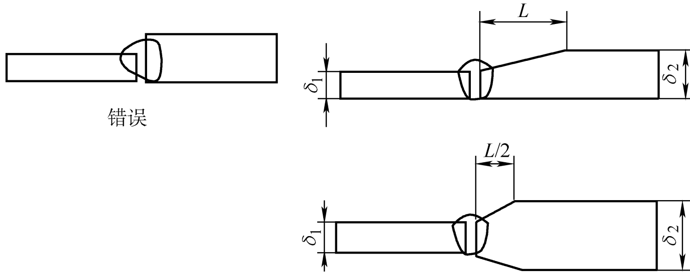


图2-16　不等厚板的接头处理

1）不同板厚允许的板厚差，见表2-1。

表2-1　允许的板厚差　（单位：mm）

薄板厚度	≥2～5	≥5～9	≥9～12	≥12
允许的板厚差（$\delta_2-\delta_1$）	1	2	3	4

2）削薄长度 $L\geqslant3(\delta_2-\delta_1)$。

要点39　窄间隙埋弧焊工艺要点

1. 焊剂的自脱渣性和焊渣清除问题

窄间隙埋弧焊工艺属于大厚度焊件的深窄坡口焊接工艺，焊缝大深宽比的特点是一般坡口的深宽比可达5～15（图2-17），这就存在每个焊道焊渣渣壳的脱渣和清除问题。

一般埋弧焊工艺，都希望渣壳能自动脱落（图2-18）。如果渣壳不能自动脱落，对宽度一般只有20～30mm的深窄坡口来说，手工清除渣壳将十分困难，为此，窄间隙埋弧焊工艺还必须解决焊渣（包括未用完的焊剂）的自动清除（图2-19）。

要解决焊剂的自脱渣性问题首先是选用适用于窄间隙埋弧焊工艺的焊剂。

这其中不仅要求焊剂有良好的自脱渣性，还同时对焊剂的其他工艺性有要求：主要指焊剂的稳弧性和液态渣壳的流动性。

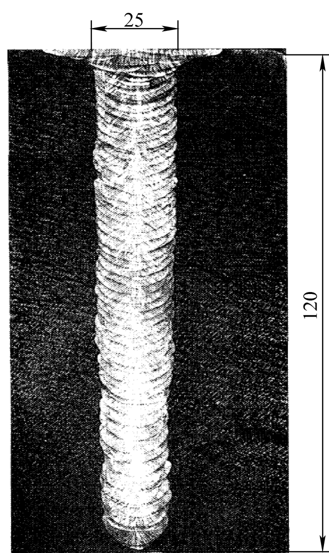


图 2-17 窄间隙埋弧焊缝的深宽比



图 2-18 焊剂的自脱渣性

从埋弧焊工艺方法的实践中，人们摸索出一个渣壳能自动脱落的窄间隙埋弧焊工艺方法：这就是图 2-20 所示的所谓“鱼鳞状”焊道窄间隙埋弧焊工艺。

这种“鱼鳞状”焊道与“凹形”焊道（图 2-21）的区别是：由于两种焊道的渣壳与焊件侧壁切入角（图 2-22）的不同，造成渣壳不同的表面张力，前者的表面张力可使渣壳自动脱落；而后者的表面张力使渣壳牢固地粘贴在焊件的侧壁上。基于上述理由，窄间隙埋弧焊工艺忌用“凹面状”焊道，而必须采用“鱼鳞状”焊道。

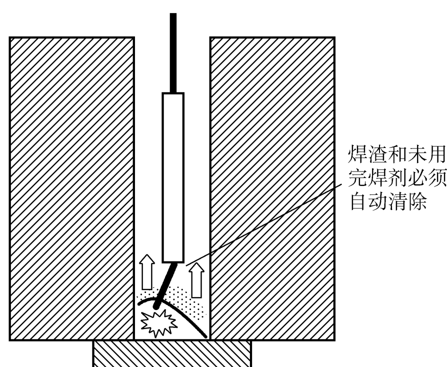


图 2-19 焊渣的自动清除

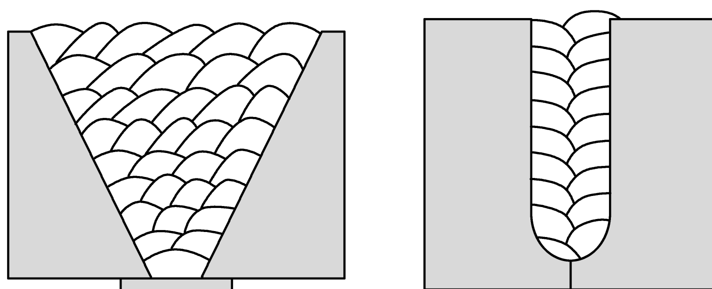


图 2-20 普通多层焊道与窄间隙“鱼鳞状”焊道的比较

为获得“鱼鳞状”焊道，焊丝由导电嘴送出的必须偏离垂线，即要使焊丝的前端以一定方式弯曲，在目前的窄间隙埋弧焊机中，使用图 2-23 所示的两种弯曲方式。前者为导电嘴偏摆结构方式、后者为固定弯曲导电嘴结构方式。哪种焊丝弯曲方式更为恰当时，必须考虑到以下实际使用问题：

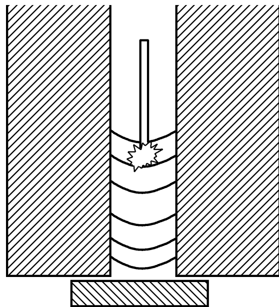
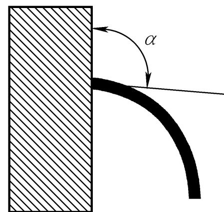
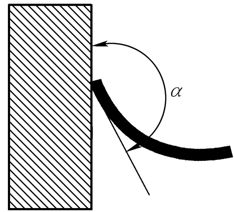


图2-21　一层一道的“凹形”焊缝



“凸面状”渣壳的切入角



“凹面状”渣壳的切入角

图2-22　凸凹面不同时渣壳的切入角

1）焊接准备程序时，对导电嘴偏摆结构方式来说，焊丝送出导电嘴的过程是先垂直送出导电嘴，然后再弯曲导电嘴，而后者的焊丝是直接送出固定弯曲的导电嘴。

前者的优点是焊丝送出焊嘴的过程中，由于焊丝的端头（一般都很锋锐）不会划伤导丝管内壁，因此送丝过程稳定而顺畅，这就保证了焊接过程的稳定。

而后者的焊丝虽说是直接一步送出导电嘴，但锋锐的焊丝端头在通过固定弯曲的导电嘴时，极易划伤导丝管内壁的弯曲处，严重时使送丝受阻。

而焊丝一旦受阻，就会产生引弧困难或焊接中途断弧。而这两种故障对重要结构件（如压力容器、化工设备、锅炉、电站设备）的厚板窄间隙埋弧焊工艺来说是大忌。

2）对导电嘴偏摆结构方式来说，焊嘴偏摆角度 θ 可按厚板窄间隙埋弧焊工艺的要求进行调节，这就扩大了窄间隙埋弧焊机的适用范围；而对固定弯曲导电嘴结构方式来说，若调节焊丝偏摆角度 θ，就必须更换具不同弯曲角的导电嘴，这给焊接不同焊件时带来操作麻烦。

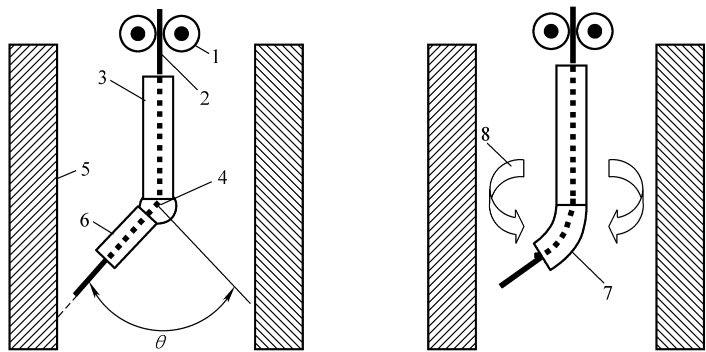


图2-23　焊嘴的偏摆方式

1—送丝轮　2—焊丝　3—焊丝导管　4—焊丝导管偏摆中心　5—工件侧壁　6—焊丝出口（焊嘴）
θ—偏摆角　7—固定弯曲焊嘴　8—焊嘴的旋转

2. 窄间隙埋弧焊的坡口形式

坡口形式对制造工序、焊接效率和焊接质量都有很大的影响。窄间隙埋弧焊的坡口形式主要根据设备特点、焊接结构、板厚和具体加工条件而定。

窄间隙埋弧焊的三种坡口形式如图2-24所示。图2-24a所示为垫板单面焊坡口，这种坡口可连续焊完，但是如果有错边，根部就很容易产生缺陷，而且焊后要去掉垫板，加工量比较大，因此焊接筒体类焊件时，如果筒体内径未经严格加工的情况下不宜采用此法。

图2-24b 所示为背面需清根焊接的坡口，焊缝底部质量容易保证，在实际生产中多采用这种坡口。

图2-24c 所示为内部封底焊坡口，这种坡口无须清理焊根（因为背面（内径）必须焊接)。

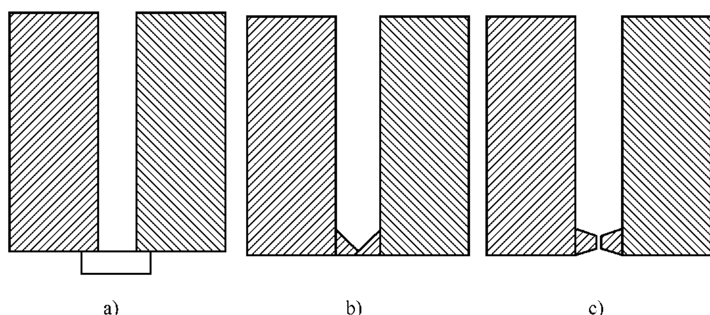


图2-24 窄间隙埋弧焊的三种坡口的形式

a）垫板单面焊坡口 b）背面需清根焊接坡口 c）内部封底焊坡口

一种窄间隙埋弧焊的实际坡口与焊道设计尺寸如图2-25 所示。

窄间隙埋弧焊焊第一道焊缝，要严格选定焊接参数保证焊透，一般用于筒体组装焊缝。

窄间隙焊坡口间隙，对焊接质量也有重要影响，间隙太窄，不仅不利于操作，而且还会造成夹渣，为了得到焊道与侧壁焊道与焊道良好熔合的焊缝，间隙宽度在 18 ~ 24mm 范围内较为合适，可随着焊丝直径的不同进行适当调整。

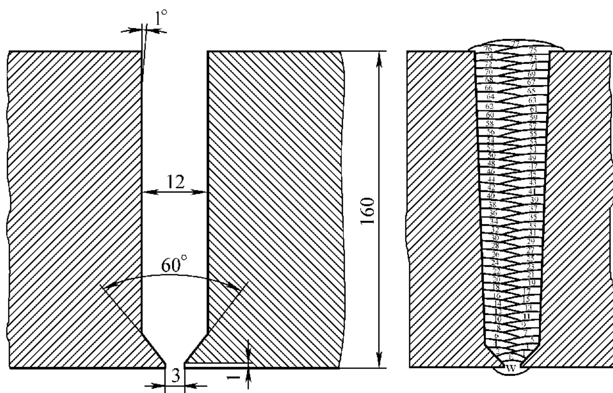


图2-25 窄间隙埋弧焊焊件的实际坡口与焊道设计尺寸

为了补偿焊缝的自然收缩，保证焊接正常进行和焊接参数一致，要求坡口侧面有一定倾角。板厚在100mm 内，采用 ϕ4mm 的焊丝。

3. 窄间隙埋弧焊的主要焊接参数

窄间隙埋弧焊的主要焊接参数有：焊接电参数、焊丝端部与侧壁的距离、焊丝伸出长度以及环缝焊每焊一道的重叠量等。

（1）焊丝端部与坡口侧壁的距离 焊丝端部与侧壁的距离（图2-26）L：

可通过导电嘴的摆动角度来调整，L 不仅影响焊缝成形，而且影响熔深。

当焊丝直径为 ϕ3mm 或 ϕ4mm 且 $L<2$mm 时，焊道凸起，易产生夹渣，同时还加大了侧壁熔深，产生咬边。

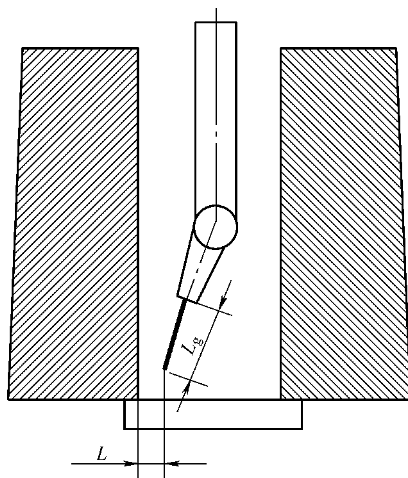


图2-26 焊区参数

当 $L>4mm$ 时，侧壁结合处有下陷的尖角，甚至出现未熔合缺陷。

当 $L=2.5\sim4mm$ 时，焊道与侧壁熔合良好，熔深为 1.5～2.5mm。

由于在焊接过程中，焊完一道后，焊嘴端部要摆动到另一侧焊接，因此焊接前要求将导电嘴主体的轴线调整到间隙的中心线上，以保证焊嘴端部不论偏转到哪一侧壁焊接，都有相同距离。

（2）焊丝的伸出长度　焊丝的伸出长度（图 2-26 中的 L_g）直接影响焊缝质量；伸出长度大，焊丝易弯曲，引起电弧摆动，出现断续咬肉和熔合不良的现象；伸出长度小，导电嘴易烧损，伸出长度一般取 30～40mm 为合适。

（3）焊接电压　在窄间隙埋弧焊中，焊接电压对焊缝成形影响较大：当电压小于 25V 时致使焊道凸起；电压大于 35V 时，则会产生咬肉，而且在这两种情况下脱渣都较困难，因此合适的焊接电压应为 28～30V。

（4）焊接电流　焊接电流与坡口间隙、焊丝直径和焊速都有一定关系，通过试验所得焊接参数见表 2-2。

表 2-2　窄间隙埋弧焊主要焊接参数

间隙宽度 b/mm	焊丝直径 ϕ/mm	热输入 Q/(kJ/cm)
18～20	3	22～30
20～24	4	30～40

要点 40　掌握双丝埋弧焊工艺特点

双丝埋弧焊是在单丝埋弧焊的基础上，增加一根焊丝（图 2-27）形成的埋弧焊工艺。提高埋弧焊效率，一直是国内外焊接技术研究和应用的重要内容。高效化焊接研究中，以前主要以焊接材料方面的问题居多，随着冶金技术的进步，由于焊材的焊接性提高，使母材对焊接热输入不再敏感，允许使用大电流焊接。

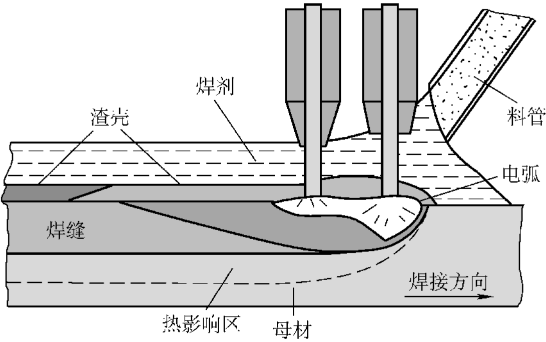


图 2-27　双丝埋弧焊原理图

另外，焊接过程机械化与自动化水平的提高，也要求提高焊接效率。双丝埋弧焊正是在这种情况下开发的一种常用高效焊接工艺方法。

当两焊丝间距较小时，两个电弧具有共同的电弧空间，这时前端电弧（也称前导电弧）起着预热及形成熔深的作用，后端电弧（也称跟随电弧）起调节焊缝宽度、提高生产率作用。

1. 串列双丝埋弧焊

双丝埋弧焊中，如果其中每根焊丝都由一个独立电源供电（图 2-28），则称其为串列双丝埋弧焊；串列双丝埋弧焊中，每根焊丝的电源都有几种选择的可能（图 2-29）：即一根是直流、一根是交流，或两根都是交流，或两根都是直流。

由于两电弧间的电磁干扰和电弧偏吹的缘故，最常采用的布置方式为：

一根导前焊丝为直流反极性、而跟随焊丝为交流焊丝；或是两根均为交流焊丝。

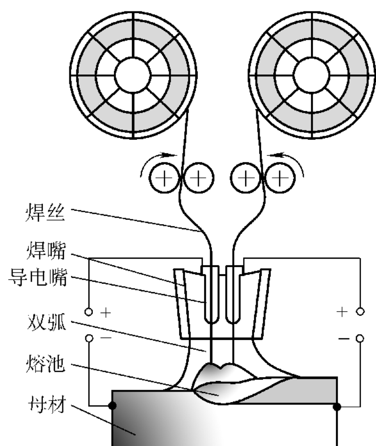


图2-28 “串列双丝”焊的供电

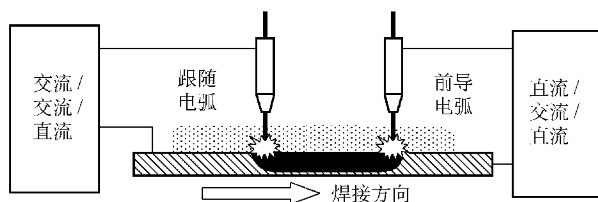


图2-29 “串列双丝”焊的电源匹配

导前焊丝为直流、跟随焊丝为交流的系统中，利用前导的直流电弧较大的熔深提供较高的焊接速度；而在略低电流下工作的跟随交流电弧可改善该焊缝的外形和表面粗糙度。

（1）串列双丝双熔池埋弧焊　当两根焊丝间距较大时，两个电弧没有共同的电弧空间，形成双熔池，这时前端电弧有造成熔深和预热的作用；后端电弧有提高生产率、延缓焊缝冷却速度和后热处理前一层焊缝的作用，因此在焊接合金钢时，不易出现裂纹并改善接头性能。

大量的工艺实验证明，串列双丝双熔池埋弧焊技术具有以下特点：

1）生产效率高。由于使用两个电源供给两个电弧焊接，其生产率比单丝单弧焊接提高1倍左右。例如，采用两个300A的双细丝双弧焊接与粗丝单电弧焊接相比，其熔敷率比为10.5/6.4可以提高生产率60%以上；厚板焊接时，双细丝双弧焊接可以开小坡口，生产率可进一步提高。

2）焊接裂纹倾向小。一般对厚板或含碳量及合金元素较多的材料的焊接，需要首先进行预热以减少裂纹倾向，这就增加了生产的工序和操作者的劳动强度，提高了生产成本。而采用双细丝双弧焊接方法，由于其前导电弧的预热作用和跟随电弧的后热作用，材料焊接的裂纹倾向要小得多，减少了生产过程中预热和层间温度的控制环节。

3）焊缝力学性能好。采用单粗丝、大电流焊接，有时会出现强度高、但冲击韧度低的结果；而双丝埋弧焊技术的焊接接头可以形成有利的窄长温度场和双峰值热循环，降低了熔池的最高温度，减少了接头热影响区（HAZ）的宽度；双电弧在焊接时形成的熔池纵向尺寸较长，金属处在固熔态的时间较长，冷却速度和热循环过程相对于单电弧来说就较慢，因此焊缝中的微量元素有较长时间进行扩散，从而使低熔点的共熔物因过冷度的降低而减少了成分偏析；故采用双细丝双弧焊接技术可以明显的提高接头韧性，改善了焊缝的组织与性能。

4）可以适当调整焊缝成分。采用不同的焊丝匹配，进行焊缝渗合金，可以满足不同的焊缝性能要求。

（2）串列双丝单熔池埋弧焊　串列双丝单熔池埋弧焊仍是采用两个独立的焊接电源，但是两个电弧共同作用于同一个熔池，两个电弧前后距离不超过40mm，第一个电弧形成熔深将焊件熔透，第二个电弧形成盖面焊缝，焊接一次完成，焊接时可不开坡口。

其特点是：

1）节能。高速度的焊接有效降低了焊件因二次加热所带来的能量损耗，这部分损耗包括焊件的热量损耗、焊剂的二次热量损耗等。当采用单电弧进行同样的结构加工时，由于要增加一道盖面工序，焊件在温度降低以后还需进行第二次加热，同时还增加了焊剂熔化时的能量损耗。

2）可高速焊接。采用双丝焊接工艺时，虽然在输入功率增加了 50%（与单丝相比）情况下，热输入却减少了 15% ~30%，这是因焊接速度提高了 1.5 ~2.5 倍。

3）改善焊缝成形。单电弧埋弧焊由于能量密度集中于一点，导致电弧穿透力较强，熔化金属来不及摊开，从而导致焊缝呈现锥形截面；而双丝双弧埋弧焊时，可用调节跟随电弧的焊丝角度（图 2-30）来调节熔池形状，从而可改善焊缝成形。

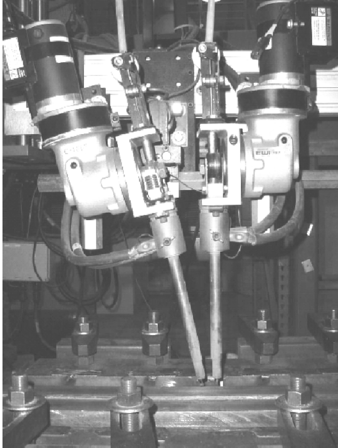


图 2-30　跟随焊枪的角度调节

2. 单电源双丝埋弧焊

单电源双丝埋弧焊，也称并列双丝埋弧焊。它是用两根较细的焊丝代替一根较粗的焊丝，两根焊丝共用一个导电嘴（图 2-31、图 2-32），以同一速度通过导电嘴向外送出。

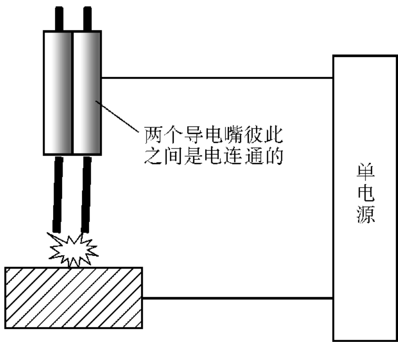


图 2-31　“单电源双丝”焊的供电

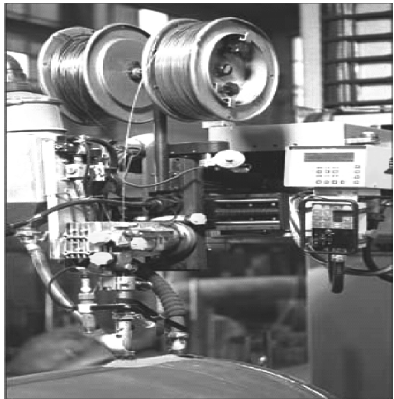


图 2-32　一种“单电源双丝”埋弧焊头

两焊丝的直径可以相同也可以不相同、化学成分同样可以相同也可以不相同；而焊丝之间的距离（图 2-33）取决于焊丝的直径和焊接参数。

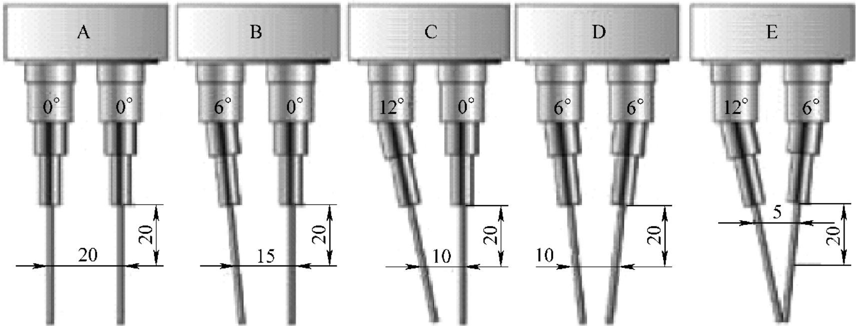


图 2-33　单电源双丝埋弧焊焊丝的位置调节（ESAB）

两焊丝排列方式可纵向排置（图2-34）、也可横向平行排置（图2-35）或成某角度排置，这都取决于焊丝的直径和焊接参数。

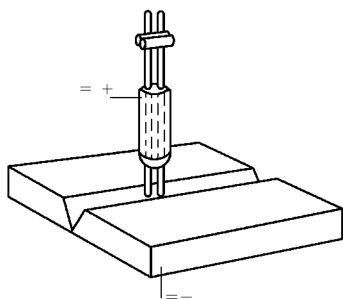


图2-34 纵向排置

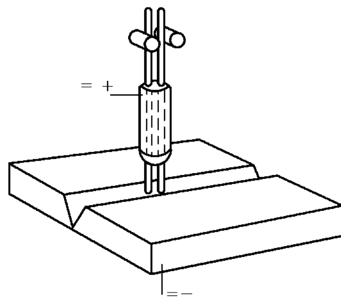


图2-35 横向平行排置

由于两焊丝靠得比较近，两焊丝形成电弧共熔池，并且两电弧互相影响，这正是并列双丝埋弧焊优于单丝埋弧焊的原因。

交、直流电源均可使用，但直流反接能得到最好的效果。

并列双丝焊的优点：

1）能获得更高质量的焊缝。这是因为两电弧对母材的加热区变宽，焊缝金属的过热倾向减弱，平均焊接速度比单丝焊提高。

2）焊接设备简单。这种焊接方法在很多方面可以和串列双丝埋弧焊的焊速和熔敷率相比，而设备的投资费用仅为串列双丝埋弧焊设备的一半，所以这种工艺很容易推广到多丝焊。

要点41 带极埋弧堆焊工艺要点

带极埋弧堆焊是使用带状薄板作为电极（图2-36、图2-37）的埋弧堆焊，一般常用的带宽为60mm，因此可在母材表面进行高效堆焊。

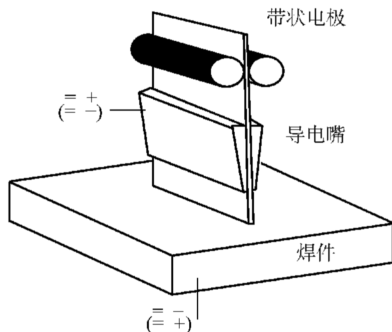


图2-36 带极堆焊示意图

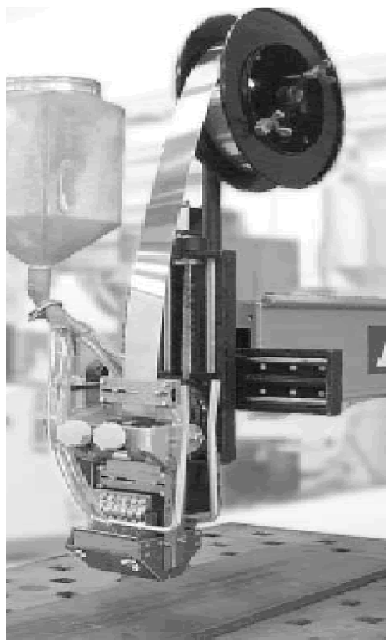


图2-37 带极堆焊的焊头

带极埋弧堆焊工艺特点是具有较高的熔敷速度、较浅的熔深和低稀释度，是表面堆焊的理想方法。

在高压容器的内表面（筒节与封头）堆焊中，获得广泛的应用。

带极埋弧堆焊工艺要点：

1）严格遵守埋弧堆焊行业规定选用成分合适的带材。凡是须堆焊的焊件，多是重大压力容器部件，其工作条件往往是高温、高压、气、液腐蚀介质、放射性等的苛刻环境。因此国外对应用于电站（特别是核电）设备、化工设备、船载动力（特别是核动力）设备中的带材堆焊材料都有严格的行业规定，例如ASME就规范了压力容器部件埋弧堆焊带材的材料牌号和堆焊层化学成分的要求。

注意带材的化学成分不仅要根据被堆焊基体材料、堆焊层材料来选择，还要依堆焊层的层道（第一层还是第二、三层）来配套选用。

2）焊剂。要根据被堆焊基体材料、堆焊层材料和保证良好的脱渣性来选用。

3）注意埋弧堆焊往往要对焊件进行预热、中间热处理与焊后热处理（PWHT）等多项繁杂的热处理工序，才能确保最终的堆焊质量。

2.2 埋弧焊设备选择与使用要点

要点42 埋弧焊电源一般选用要点

埋弧焊工艺属于熔化极、用焊剂渣壳进行保护的弧焊工艺方法。焊接电弧的稳定性是确保焊接过程稳定进行的先决条件，如果焊接电源（图2-38）的性能不好，焊接过程中就容易发生“断弧”，这对很多重要焊件的焊接，例如化工、高压容器、电站锅炉、核电设施、军工产品等结构的埋弧焊是要尽量避免的。

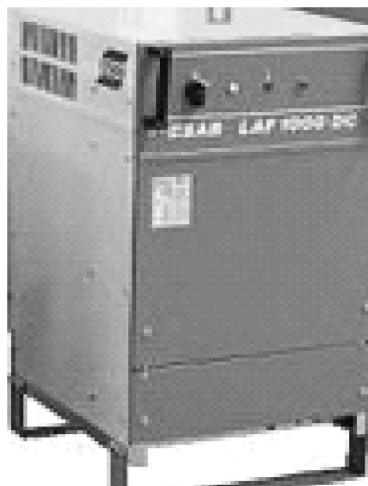


图2-38 LAF800型直流埋弧焊电源（ESAB）

1. 考查电源的稳弧性和快速性

保障电弧稳定的先决条件就是选用高性能的埋弧焊电源。埋弧焊发展的初期，埋弧焊设备中多采用机械调节式工频交流电源，如图2-39所示。其电源的主电路就是一焊接变压器，而对焊接电流的调节，是使用一机械调节式的电抗器。整套电源（焊接变压器加电抗器），不仅体积大、而且耗铜、耗铁量很大。

机械调节式工频交流电源的主要缺点是：它不属于自动控制的埋弧焊电源，即焊接电流一旦调节到某一数值后，电源对“电源—电弧”系统中，任何影响焊接电流变化的因素都不会被自动检测、也不会使焊接电流自动恢复到给定的数值，也就是说，这种电源没有什么焊接电流调节精度可言。

对埋弧焊设备所用的焊接电源，主要选用如图2-40所示的晶闸管整流式弧焊电源主电路，相对机械调节式工频交流埋弧焊电源来说，前者有以下几点焊接工艺优势：

1）电源的输出电流是直流，因此形成的“电源—电弧”系统的电弧稳定性好。

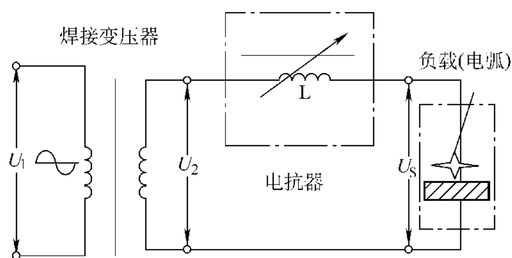


图 2-39 机械调节式工频交流埋弧焊电源主电路结构

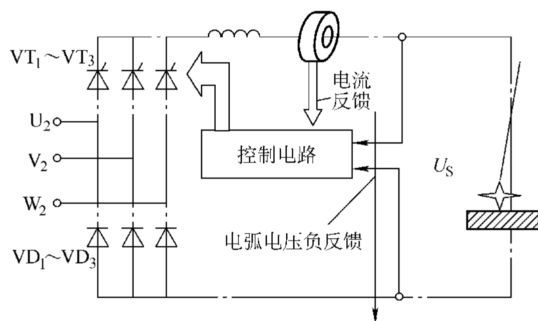


图 2-40 晶闸管整流式弧焊电源主电路

2）由于电源的控制系统中，一般都采用了输出电流负反馈电路与电弧弧长负反馈电路，因此可对因电网电压波动和电弧弧长波动造成的焊接电流的变化有良好的补偿。

3）焊接电源主电路中的大功率晶闸管，属于中等响应速度的功率电子器件（一般达1ms 的数量级），这比工频交流变压器的响应速度（一般为20ms）高出很多，电源主电路中的电子器件响应速度越快，表明电源的动态特性越好。而电源的动态特性越好的电源，克服环境干扰因素的能力越强，即焊接电流一旦偏离给定值，会在很短的时间内得以恢复。

4）有的晶闸管整流式弧焊电源控制系统中，还采用了所谓“电子电抗器”（电子电抗器是相对于机械调节式电抗器而言的）。这样，使电源的体积重量大为减少。

除了采用晶闸管整流式弧焊电源外，近年来还推出了以大功率绝缘栅晶体管（IGBT）为逆变器件的逆变器类弧焊电源，图 2-41 所示为 IGBT 逆变器弧焊电源的一种主电路形式。与晶闸管整流式弧焊电源相比，IGBT 逆变器弧焊电源有更优异的技术特点：

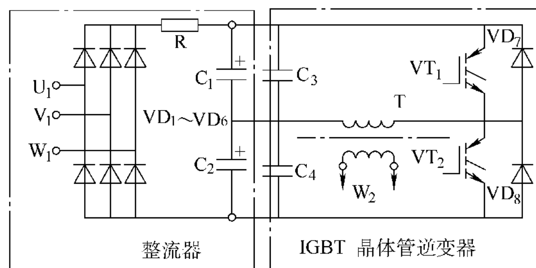


图 2-41 IGBT 晶体管逆变器式弧焊电源主电路形式

1）大功率 IGBT 器件的响应速度比晶闸管又大一个数量级，即可达到 1μs，因此 IGBT 逆变器弧焊电源的动态性能是最好的。

2）IGBT 逆变器弧焊电源采用脉宽调制方式控制焊接电流。因此控制方式灵活、控制精度高，焊接参数可实现“数字化”精确调节。

3）IGBT 逆变器弧焊电源的控制电路很容易与微机（芯片）、DSP（数字控制器）芯片接口，这样一来，可实现包括埋弧焊设备机械系统在内的全系统微机自动控制。

4）全系统微机自动控制，还包括焊接参数的数字式给定和显示，这又给操作带来很大的方便。

2. 考查电源的伏 - 安特性（即静特性）

（1）电弧电压自动调节系统　埋弧焊工艺中，多采用电弧电压自动调节系统（图 2-42），是以弧长波动时产生的电弧电压的偏差量作为负反馈量来调节送丝速度，从而使电弧弧长得以恢复。弧长变化时，引起的电弧电压的偏差量越大，系统的自动调节作用就越强，弧长的恢复速度也就越快。为此，电弧电压自动调节系统若配用陡降特性的电源，将会获得较大的电压偏差量，如图 2-43 所示。

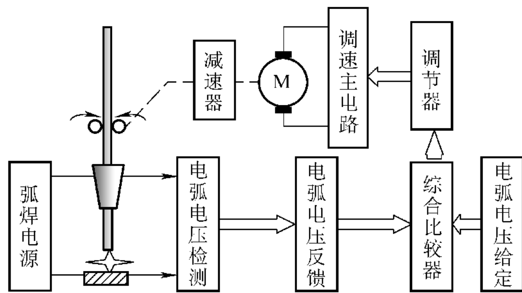


图 2-42 电弧电压自动调节系统框图

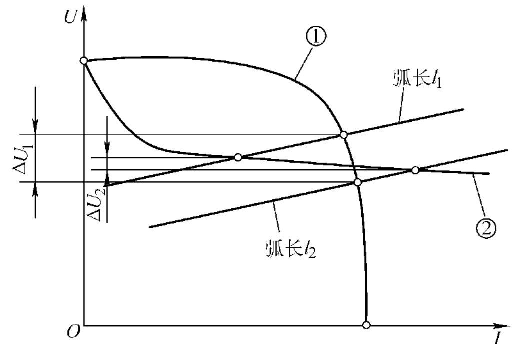


图 2-43 弧长变化引起的电弧电压偏差量 ΔU

①—电源为陡降特性 ②—电源为平特性

图 2-43 中，当弧长由 l_1 缩短为 l_2 时，与陡降特性的电源①配合，引起的电弧电压偏差量为 ΔU_1；如与平特性的电源②配合，引起的电弧电压偏差量 ΔU_2 则几乎为零，所以电弧电压自动调节系统不宜配用平特性电源。

其实，从用户的角度出发，根本不必考虑选用的埋弧焊设备应配用何种特性电源的问题，因为这是设备制造厂家的事。作为设备用户选用埋弧焊设备时，更大程度上倒是应注意该埋弧焊设备的电源能提供多大的焊接电流。所以在设备的说明书中，一般都给出配用电源的外特性曲线，如图 2-44 所示。例如，LAF800/1250 系列电源是 ESAB 公司专为埋弧焊（SAW）而设计的晶闸管整流式直流电源。

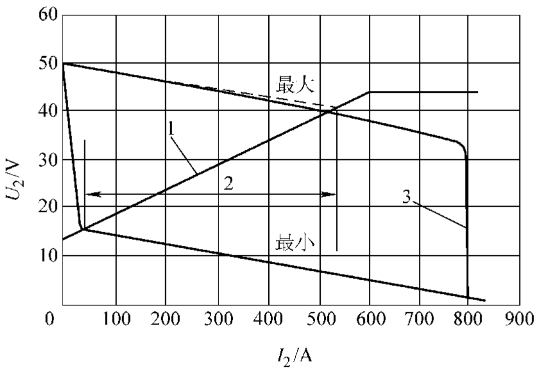


图 2-44 LAF800 埋弧焊电源的外特性

1—电弧 V—A 特性 2—给定电弧 V—A 特性下的电流调节范围 3—最大电流

主要特点：

控制器可以完全控制和检测电源的运行状态，还可遥控。

采用风扇冷却，并对电源进行热保护。

焊接电源和控制器被连接在机内控制计算机双向总线上，能够准确地控制和监测焊接过程。

可以通过液晶显示控制器面板设置所有的焊接参数。

还有引弧和息弧控制功能。图 2-38 就是该电源的外形。

（2）适用于电弧自身调节系统的电源伏－安特性　电弧自身调节系统工作时，焊丝是以确定的速度恒速送进的。遇到外界对弧长的干扰时，电弧弧长就会偏离原给定弧长，若使偏离的弧长恢复成给定弧长，该系统靠的是电弧自身的调节弧长的功能。而这种调节弧长的功能的“原动力”，就是弧长偏离时引起的焊接电流的变化量，确切地说，是焊接电流的变化偏差量越大、恢复的“原动力”就越大。

偏离的弧长若能恢复成给定弧长，还需具备一个条件：即焊接电流的变化，必须是使弧

长恢复的负反馈量，即弧长变长，它（偏差量）促弧长变短；弧长变短，它则促弧长变长。而这个条件，恰好是电弧自身调节系统本身具备的，也是该系统名称的由来。

有了恢复给定弧长的外界“原动力”，弧长能以多快的速度恢复，这就要看焊丝的粗细，焊丝越细恢复速度越快；焊丝越粗恢复速度越慢。埋弧焊一般使用2～4mm的焊丝，属于粗丝应用范围，因此在埋弧焊中使用电弧自身调节系统，弧长恢复功能是很差的。综上所述，电弧自身调节系统要配用平特性的焊接电源，如图2-45所示。

3. 对窄间隙埋弧焊要特别注意考查电源的引弧性能

一般埋弧焊的引弧方式主要有两种：焊丝短路划擦引弧与焊丝短路回抽引弧。而对厚板窄间隙埋弧焊来说，焊缝的坡口宽度，一般仅为25～30mm，坡口深度则可达150～300mm。面对如此深而窄的坡口间隙，如果引弧不成功，可能出现两种故障状态（图2-46）：一是焊丝端部粘连到坡口底部，这时，焊丝既送不出也抽不回；二是只有一段焊丝粘连到坡口底部，而从熔化断头处开始，焊丝重新被送进。不管哪种引弧失败故障，操作人员必须清理粘连到坡口底部的焊丝断头，还有那些必须清理掉的“残渣”，才能重新开始焊接。可以想象，清理深而窄坡口间隙内的焊丝断头和“残渣”并非易事。特别是刚开始几道焊缝的焊接，情况会更为严重；为此，在对一种窄间隙埋弧焊设备进行性能选择时，其电源与控制系统的引弧成功率是一项必须考查的重要性能指标。

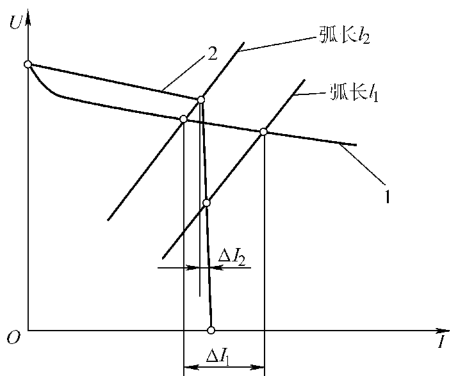


图2-45 电弧自身调节系统要配用平特性电源
1—电源为平特性 2—电源为陡降特性

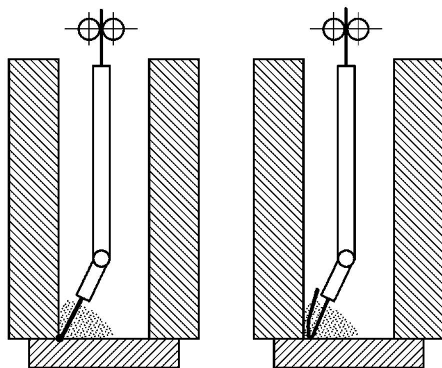


图2-46 厚板窄间隙埋弧焊引弧失败故障状态

要点43 双丝埋弧焊不宜全部采用直流电源

使用双丝埋弧焊工艺的两电弧之间的距离一般小于100mm。因此两个相距较近的电弧会受彼此之间磁场作用而发生磁偏吹现象。双丝磁偏吹现象的状态与两电弧的供电电源类型有直接的因果关系：两个极性相同的直流电弧有聚拢趋势；而极性不同的直流电弧有排斥趋势。因此对双丝埋弧焊电源类型的选择，就要尽量减少这种电弧磁偏吹现象。一般实际应用是一个为交流电弧、一个为直流电弧；或者两个电弧都用交流电源供电（图2-47）。近年开发的双丝埋弧焊设备是使用逆变技术和脉冲调制技术的电子式交流电源。

要点44 埋弧焊机机架的选用要点

机架是承载焊头的机械装置，是焊头的行走机构，它是形成某种用途和功能埋弧焊机的主体设备。从焊头的伺服角度看，机架的主要功能就是承载焊头完成沿焊缝的纵向，即焊接方向的直线或圆周的运动。而运动的速度，就是焊接速度。

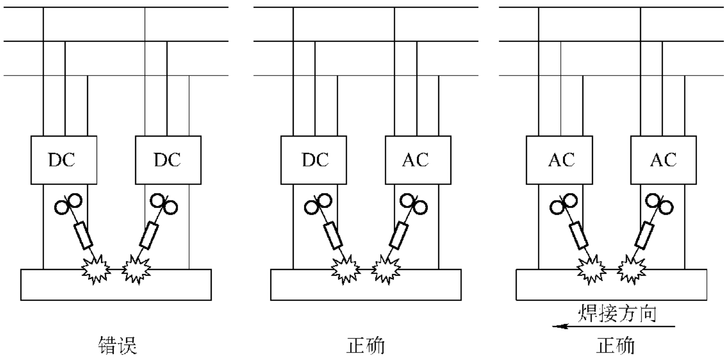


图 2-47　双丝埋弧焊配用电源

1. 小车式机架

小车式机架（图 2-48）的特点是灵活性好，成本低，特别适合于单件、小批量的平板对接、角接、筒体内外环缝等多种焊接情况，是使用最多的埋弧焊设备（图 2-49、图 2-50）。



图 2-48　小车式单丝埋弧焊机

其缺点是：每次焊接前都要准备、调整焊头小车的行走轨道，这样一来，对批量生产的情况，生产效率不高。

为提高焊接效率和质量，增加了小车式双丝埋弧焊机（图 2-51）、小车式长角缝埋弧焊机（图 2-52）、小车式单丝窄间隙埋弧焊机（图 2-53）、小车式双丝窄间隙埋弧焊机（图 2-54、图 2-55）、小车式带极埋弧堆焊机等（图 2-56、图 2-57）。

2. 悬臂式机架

悬臂式机架（图 2-58）是应用很广泛的机架形式，这是因它适用于以下多种焊缝结构的焊接：

1）悬臂式机架焊机（配备转胎）、利用横梁的伸缩与自由升降功能，可应用于筒体类焊件的外、内环缝对接焊（图 2-59、图 2-60）。



图 2-49　船甲板的埋弧焊机

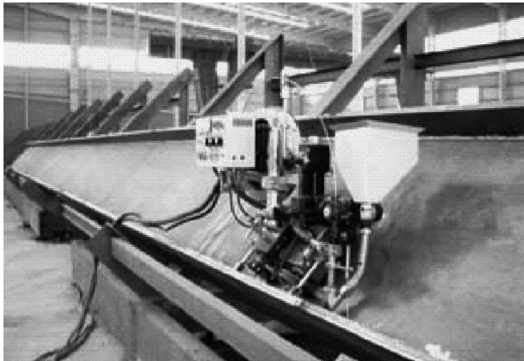
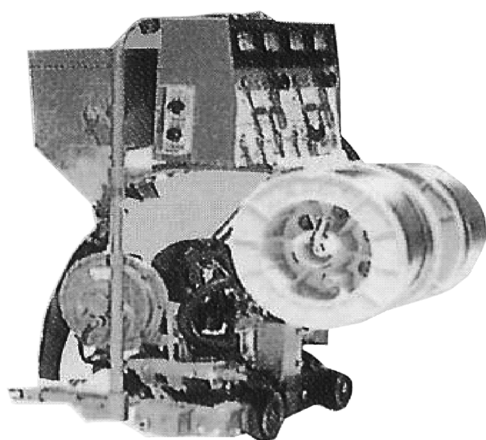


图 2-50　工字梁的角焊缝埋弧焊机



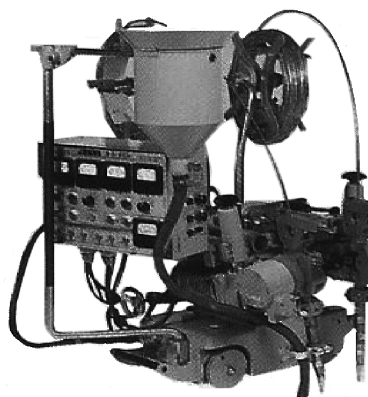


图2-51　小车式双丝埋弧焊机

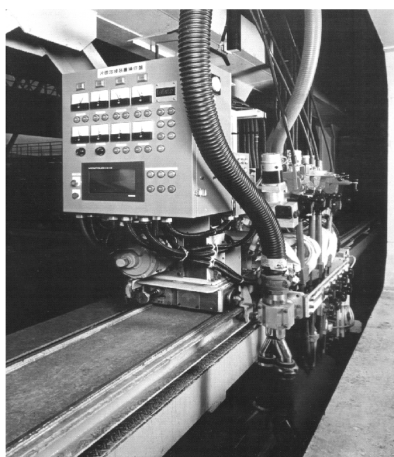


图2-52　小车式长角缝埋弧焊机

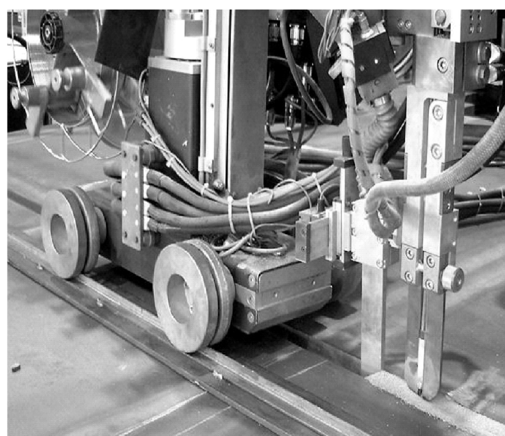


图2-53　小车式单丝窄间隙埋弧焊机

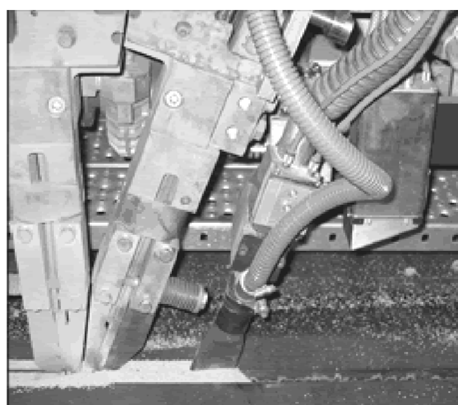


图2-54　小车式双丝窄间隙埋弧焊机



图2-55　厚板件的双丝窄间隙埋弧焊机

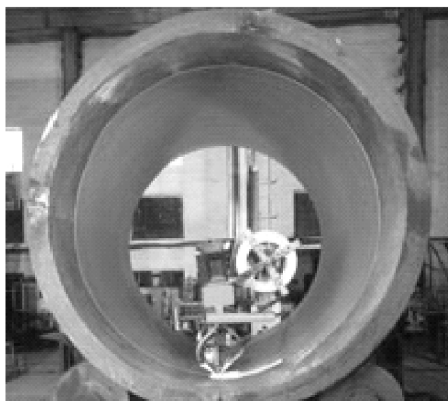

图 2-56　小车式带极埋弧堆焊机


图 2-57　筒节内壁的小车式带极埋弧堆焊机

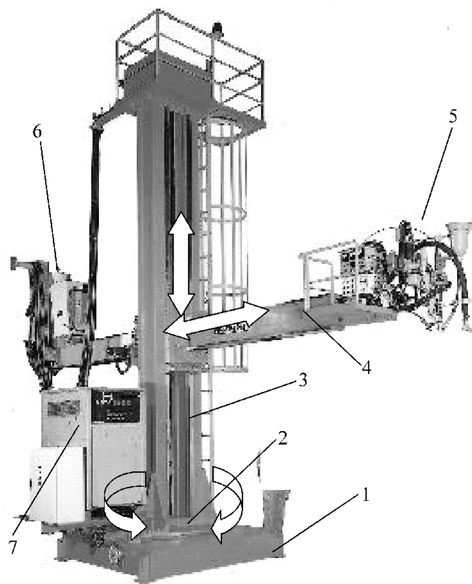
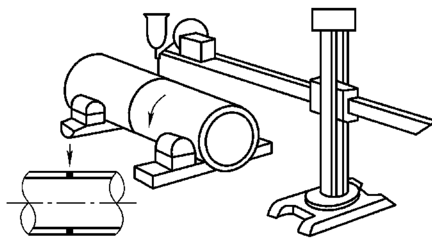
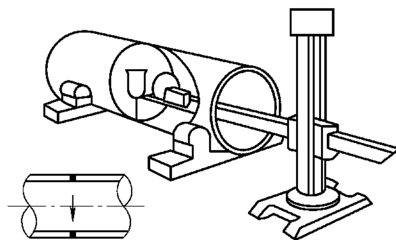


图 2-58　悬臂式机架的典型结构
1—基座　2—双向可旋转底盘　3—立柱
4—可升降、左右移动横梁　5—焊头
6—焊剂储备箱　7—焊接电源

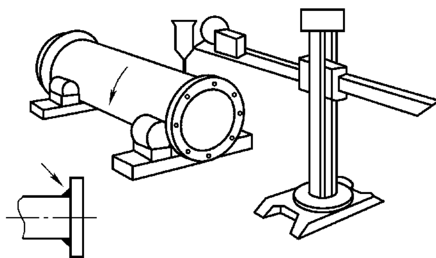

图 2-59　筒体外环缝焊接


图 2-60　筒体内环缝焊接

2）调整焊头纵向面上的倾角，可应用于筒体端与法兰盘的角接环缝焊（图 2-61）。

3）整机在适配的轨道上移动，可用于平板对接焊（图 2-62）。

4）利用横梁的伸缩、应用于筒体纵缝焊接（图 2-63）。这种应用是悬臂式埋弧焊机的主要应用之一，但筒体纵缝不能过长，否则焊接精度会降低。


图 2-61　筒体端与法兰盘角接环缝焊接

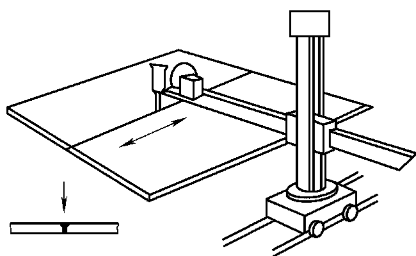


图 2-62 平板对接缝焊接

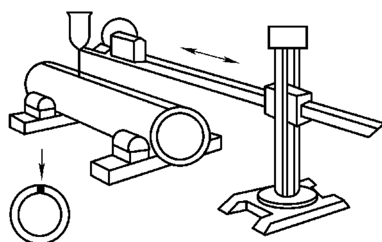


图 2-63 筒体纵缝焊接

因横梁的纵向位移速度就是纵缝焊接时的焊接速度，因此悬臂式埋弧焊机对横梁的纵向位移的伺服系统的精度就要求较高，一般多采用速度精度较高的直流电动机速度反馈调节系统（图 2-64）。

5）配备变位机，应用于筒端与圆板的外角、内角接船形环缝焊（图 2-65）。

悬臂式埋弧焊机的机架，又可有不载人（图 2-66）与载人（图 2-67）两种结构形式：前者，悬臂式埋弧焊机可采用简易立柱与横梁，但不便操作。

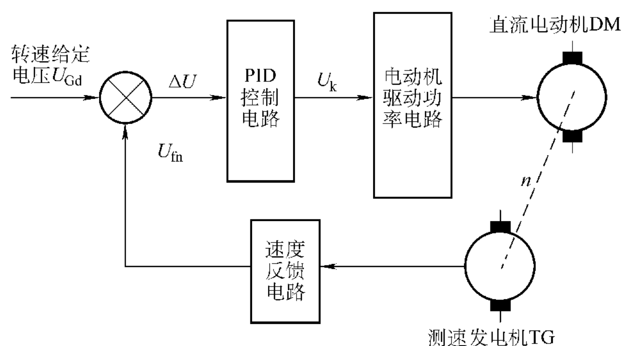


图 2-64 测速发电机速度负反馈直流电动机调速系统结构框图

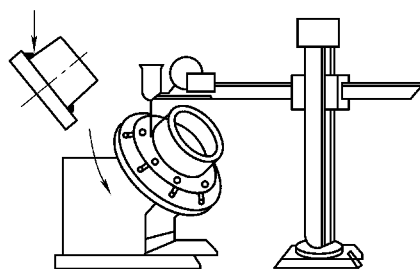


图 2-65 筒端与圆板外角接船形环缝焊

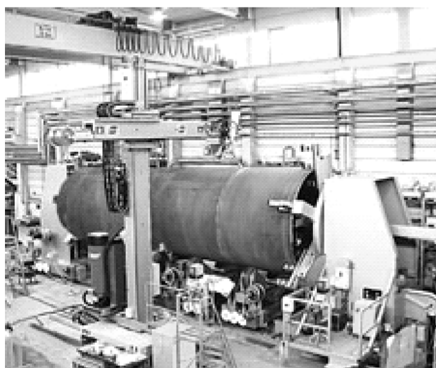


图 2-66 焊头端不载人型悬臂式焊机



图 2-67 焊头端载人型悬臂式焊机

后者方便操作，但对悬臂式埋弧焊机的立柱与横梁结构设计提出很高的要求，其设备成本高出前者很多倍。

焊接过程中，悬臂式的横梁伸出的越长，处于横梁端部的焊头与焊件间的给定距离会出

现随机误差，结果必定影响焊缝的尺寸精度，这是不希望出现的焊机机械精度问题。为此，悬臂式窄间隙埋弧焊机的横梁，要尽可能增大刚度，ESAB 悬臂式窄间隙埋弧焊机横梁采用刚度很大的箱形梁截面的结构（图 2-68、图 2-69），取得很好的效果：横梁伸出最长与最短引起的焊头端部垂直偏差不超过 1mm。



图 2-68　具有箱形梁悬臂的窄间隙埋弧焊机

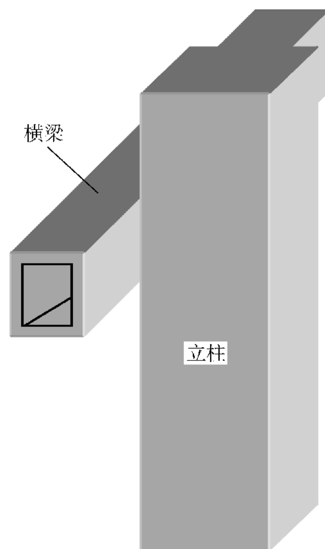


图 2-69　悬臂的箱形梁结构示意图

悬臂式窄间隙埋弧焊机的横梁一端，加装焊接机头，如果同时在横梁同一端还设有供操作人员进行控制操作的一个坐椅，这样一来，连同人的重量在内，横梁端部的负荷可达 300kg 左右。

而在焊接不同尺寸的焊件时，先要调节横梁的高度。操作人员坐到椅子上后，还要对横梁的高度进一步细调，以使焊头对准焊缝。可想而知，在横梁可能伸出的最大长度上，如果横梁产生了振颤（一般机构设计不完善就可能发生），那末就影响正常的焊接准备工作；如果横梁振颤发生在焊接途中，情况更严重。

图 2-70 中所示的加有平衡配重横梁升降机构的防振颤效果好，也是 ESAB 公司的悬臂式窄间隙埋弧焊机机架的独到的设计。

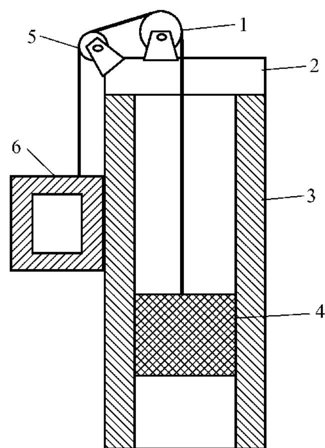


图 2-70　悬臂梁升降机构示意图
1—传动链驱动轮　2—安装板
3—空心立柱　4—平衡重滑块
5—过轮　6—空心方形梁

3. 悬台式结构机架

从方便操作的角度出发，悬台式埋弧焊机的结构形式优于悬臂式，这是因悬台式焊机一般有两根主立柱与两条悬臂梁，其整体刚度增加，悬台上可安放各种所需求结构形式的焊头，例如将整台焊接小车搬到悬台上（图 2-71）。有些悬台式的机架，有实力的用户可自行建造而节约成本。悬台式埋弧焊机的主要缺点是只适用于筒体类工件的环缝焊接。

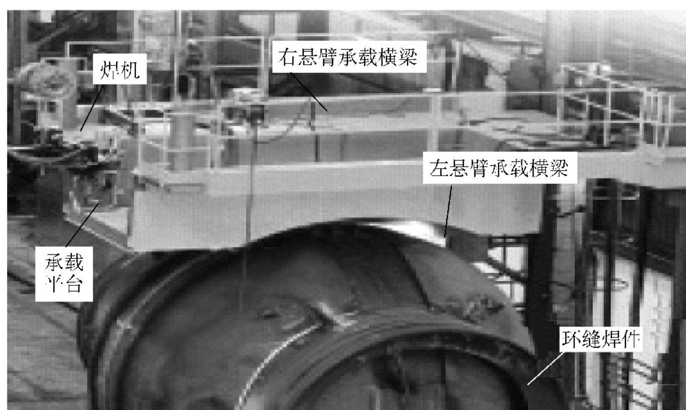


图 2-71 悬台式焊接机架

有些大型筒体类焊件，例如现代潜艇的压力壳结构，其筒体直径可达 8～10m，为确保这种军品焊接高质量，国外有实力的潜艇压力壳制造厂采用了高悬台式埋弧焊机（图 2-72），以满足大型潜艇压力壳的焊接要求。

在这种高悬台式埋弧焊机的设计中，关键是焊嘴的立向自动调节系统（弧长自动调节系统）、筒体的旋转驱动（转胎）系统采用了机电一体化技术，是保证大型筒体类焊件焊缝质量和焊接过程中筒体不偏斜的基本条件。

4. 双柱式机架

现代在核电、化工设备中，有很多筒体构件的纵缝可达 10～20m。这时，悬臂式埋弧焊机就没有连续一次焊接成功的能力。为此，近年来开发出所谓“双立柱式”埋弧焊机（图 2-73、图 2-74）。即将焊头置于有两根立柱支撑的横梁上，专门用于长筒体构件的纵缝焊接，也可在“双立柱”支撑的横梁上安装多个焊头用于筒体多道环缝同时焊接（图 2-75）。

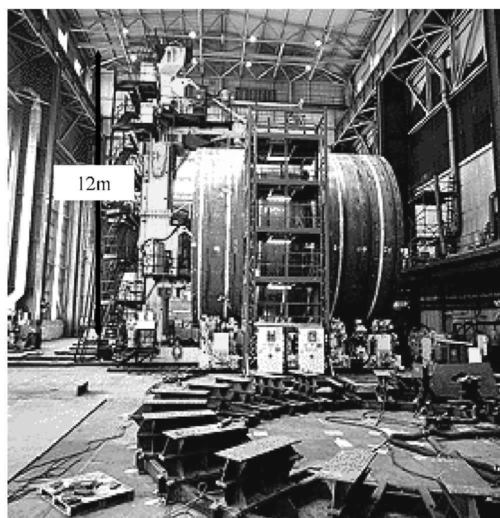


图 2-72 一种用于潜艇压力壳环缝焊接的高悬台式机架

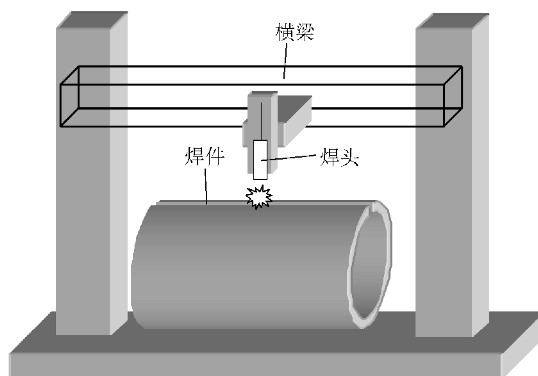


图 2-73 双柱式机架增大刚性示意图



图 2-74　双立柱式长直缝焊接机架



图 2-75　双立柱三焊头式环缝焊接机架

5. 龙门式机架

出于既可焊接环缝又可焊接纵缝的考虑，龙门式机架结构也是现代采用较多的机架形式。

龙门式机架焊机的优点：

1）机架刚性好，因机架刚性差引起的焊缝几何尺寸误差可以消除。

2）龙门式机架一般具有机架整体平移的轨道（图 2-76），因此多道环缝长形结构的焊缝对中准备工作就很简便，只要使龙门机架大概地平移到环缝的上方即可，而焊缝精确对中则由机头完成。

3）龙门式机架上可再安装焊接机器人（图 2-77），从而扩展焊机的功能：除环缝外，还可焊接直缝与工件上的其他部位焊缝。

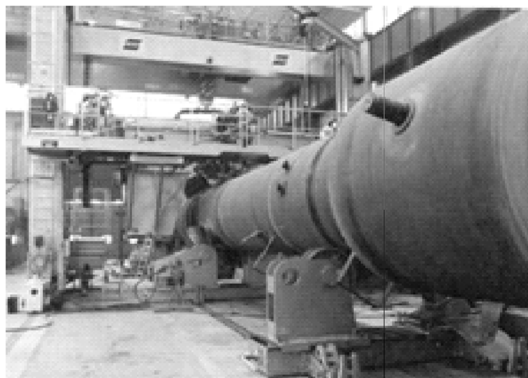


图2-76 一种典型的龙门式机架结构（ESAB）

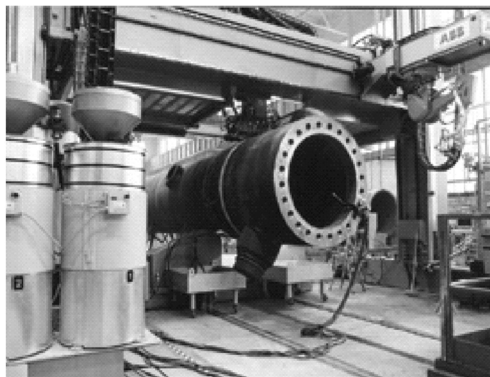


图2-77 安装机器人焊头的龙门式机架结构

4）龙门架式行走机构还适用于大型结构件的平板对接、角接。对船体建造来说，大量的焊接工程是平板料的下料与板料直缝拼接，这是龙门式机架埋弧焊机发挥优势的最好场合（图2-78）。在备料车间，可有多台龙门式机架自动焊机同时工作，这可大大提高造船效率。

龙门式机架的缺点，一是占地面积大、成本高，二是无论焊接构件直缝还是环缝，都必须配备具有精确焊缝跟踪系统的焊头，否则龙门式机架的优点难以发挥。

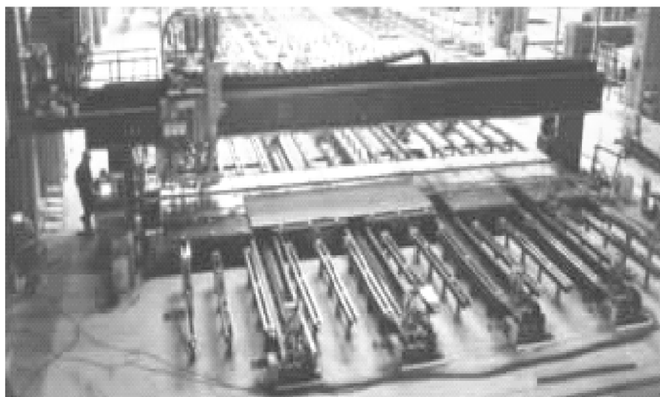


图2-78 大型龙门式机架结构埋弧焊机

要点45 埋弧焊机焊头的选用要点

1. 平面焊缝坡口跟踪系统

如果埋弧焊机的焊嘴移动，是根据随机检测焊缝坡口（中心线）位置，并及时驱动使焊嘴作横向移动的位置伺服电动机，从而使焊嘴始终跟随焊缝坡口（中心线）位置变化的系统，就称为平面位置随动控制系统，简称为焊缝跟踪。一般小车式埋弧焊机（图2-79）中所采用的焊缝跟踪系统都属于平面焊缝跟踪系统。

实现焊嘴平面焊缝的跟踪，图2-80给出了简要的说明。对实际开坡口的焊缝焊接时，要求焊枪在y轴方向以恒定的速度v平移，该速度也就是焊接速度。

埋弧焊机焊头上检测焊缝坡口（中心线）位置的装置称为坡口探头。实用的平面焊缝跟踪用坡口探头主要有机械检测式（图2-81）和机械－光电检测式（图2-82）两种，都可以选用。而图2-83所示的埋弧焊机焊头，采用的坡口探头也为机械－光电检测式，该焊头用于悬臂式机架。

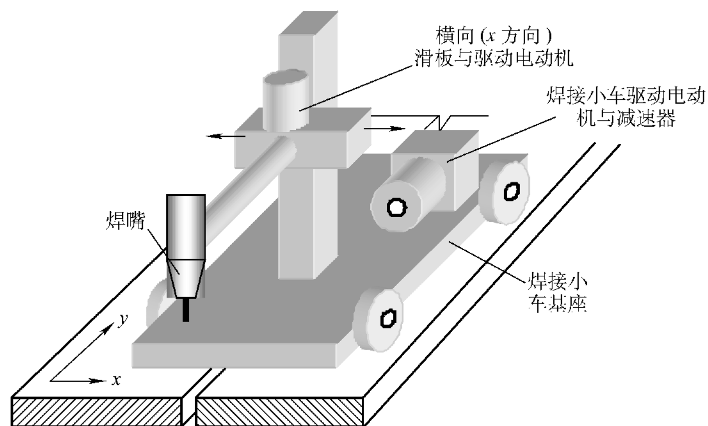


图 2-79　焊接小车一般实现平面焊缝跟踪

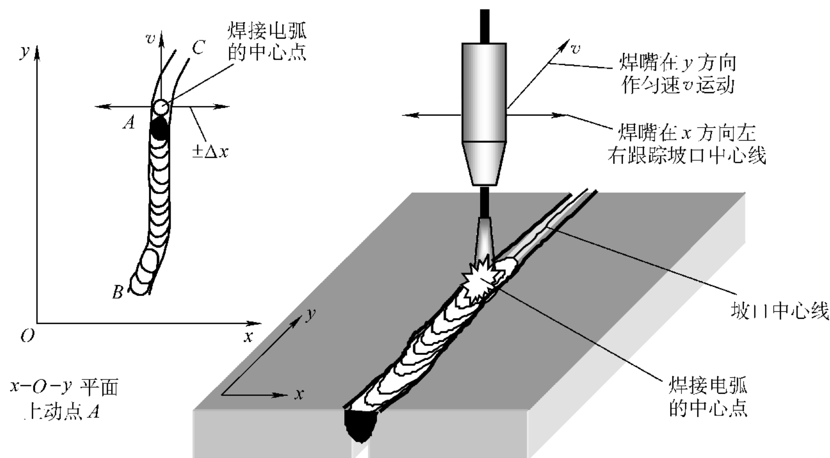


图 2-80　平面焊缝位置跟踪示意及几何含义



图 2-81　有机械检测式坡口探头焊接小车

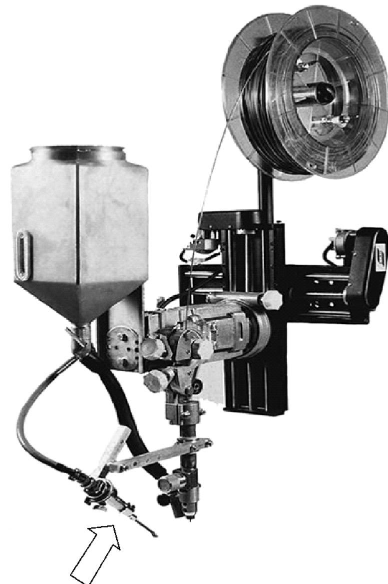


图 2-82　有机械 – 光电检测式坡口探头的机头

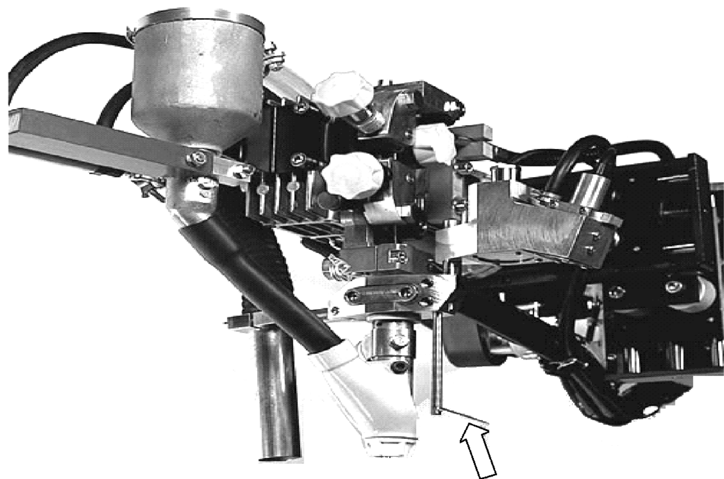


图2-83　另一种有机械－光电检测式坡口探头的埋弧焊机头（ESAB）

2. 窄间隙焊缝坡口跟踪系统

窄间隙埋弧焊接过程中，导电嘴在焊缝的宽度方向，需一直处于居中位置，即导电嘴需在 x 方向上进行位置伺服，通常称之为焊缝跟踪。严格地说，导电嘴焊缝跟踪应是焊接坡口跟踪。例如，图2-84中所示窄间隙埋弧焊的导电嘴的焊接坡口跟踪实际情况是：在焊接过程中，要有一套检测系统，一直检测导电嘴的中心线距焊件坡口两侧的距离偏差变量 $\pm\Delta x$，只要有位置偏差变量 $\pm\Delta x$ 产生，就要将这一变化送至导电嘴的位置伺服执行机构，这一执行机构就是使焊头在 x 轴方向水平移动的水平滑板；水平滑板是根据位置偏差变量 $\pm\Delta x$，产生反向位移（即＋向偏差变量产生－向位移、－向偏差变量产生＋向位移）从而使导电嘴一直保持于居中位置。

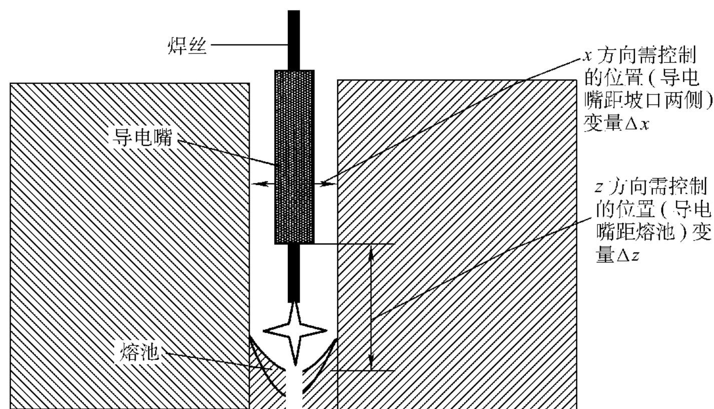


图2-84　窄间隙埋弧焊导电嘴 $x-z$ 位置伺服含义

同理，导电嘴需在 z 方向上，即导电嘴端头距焊缝坡口的距离（偏差变量 $\pm\Delta z$）也要进行位置伺服，以使导电嘴端头距已焊焊缝的表面（或坡口）的距离保持不变。

这里，以窄间隙埋弧焊导电嘴的一种实际机械－光电式 $\pm\Delta x/\pm\Delta z$ 的检测系统（图2-85）来简要说明其检测 $\pm\Delta x/\pm\Delta z$ 的基本原理。

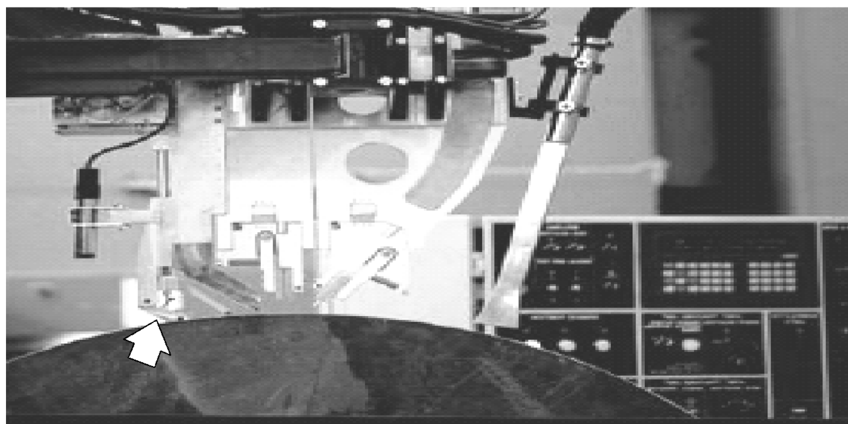


图 2-85　窄间隙埋弧焊导电嘴检测装置

图 2-86 中：深度导向小轮①与坡口底缘（或焊道）直接接触，并可绕小轴②随着坡口底缘高度变化而上、下浮动，从而在支点③处使顶杆上、下运动。

在顶杆上还同时安装有坡口壁侧向导向销④（“触角”）。侧向导向销在左右两边均有，这样，当导向销接触坡口两侧壁时，都会被壁顶回，从而使安装发光二极管的托架围绕导杆轴产生顶杆偏转。

而在光敏三极管安装基座⑤上，在垂直方向和水平方向分别安装有四只光敏三极管，它们都可以接受到由发光二极管发出的光通量。

横向的 L 和 R 光敏三极管则检测机头纵向中心线相对于坡口侧壁的左右偏移量 $\pm\Delta x$（图 2-87）。

垂直方向 U 和 D 光敏三极管分别检测机头相对于坡口底部给定深度的升起和下降的位移量 $\pm\Delta z$（图 2-88）。

焊前调整时，可通过传感器上的调节螺钉，使发光二极管中心点恰好与四只三极管的中心重合，这就是坡口跟踪的起点。

跟踪执行机构是两台直流电动机分别驱动的横向滑板和纵向滑板（图 2-89），因整个焊头与水平滑板是刚性连接的，

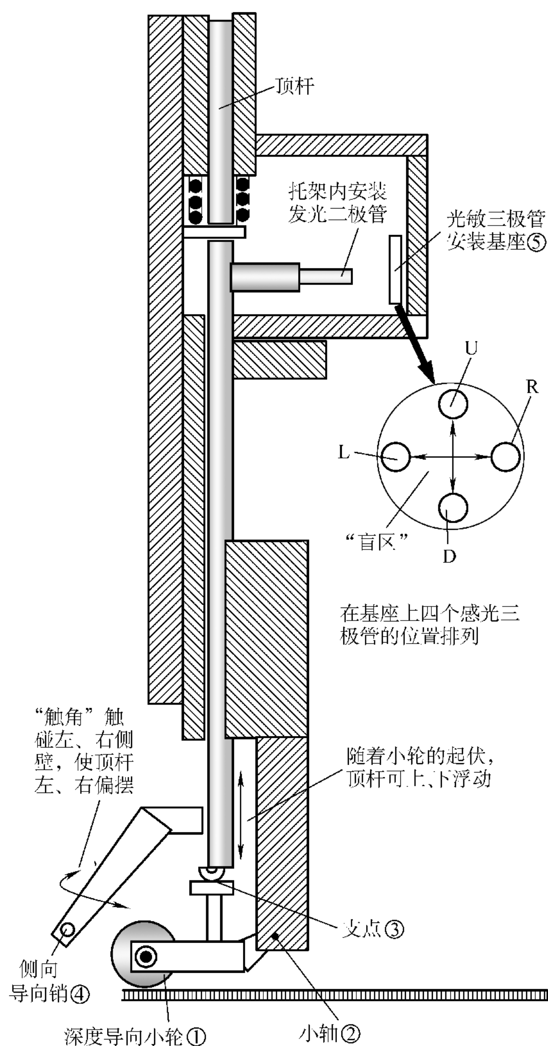


图 2-86　坡口的检测（传感器）系统构成

所以最终使焊嘴（导电嘴）产生 $\pm\Delta x/\pm\Delta z$ 跟踪位移。

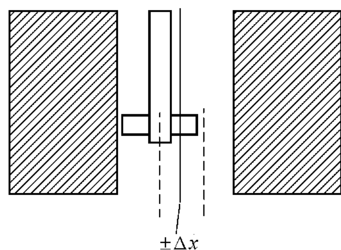


图 2-87　坡口侧壁不平直，引起顶杆中心线出现水平偏差 $\pm\Delta x$

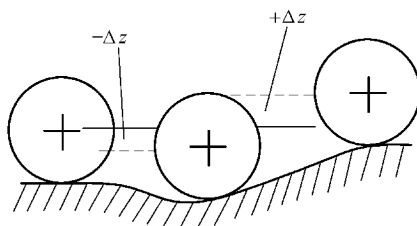


图 2-88　焊道底部不平，引起小轮轴心出现高度方向偏差 $\pm\Delta z$

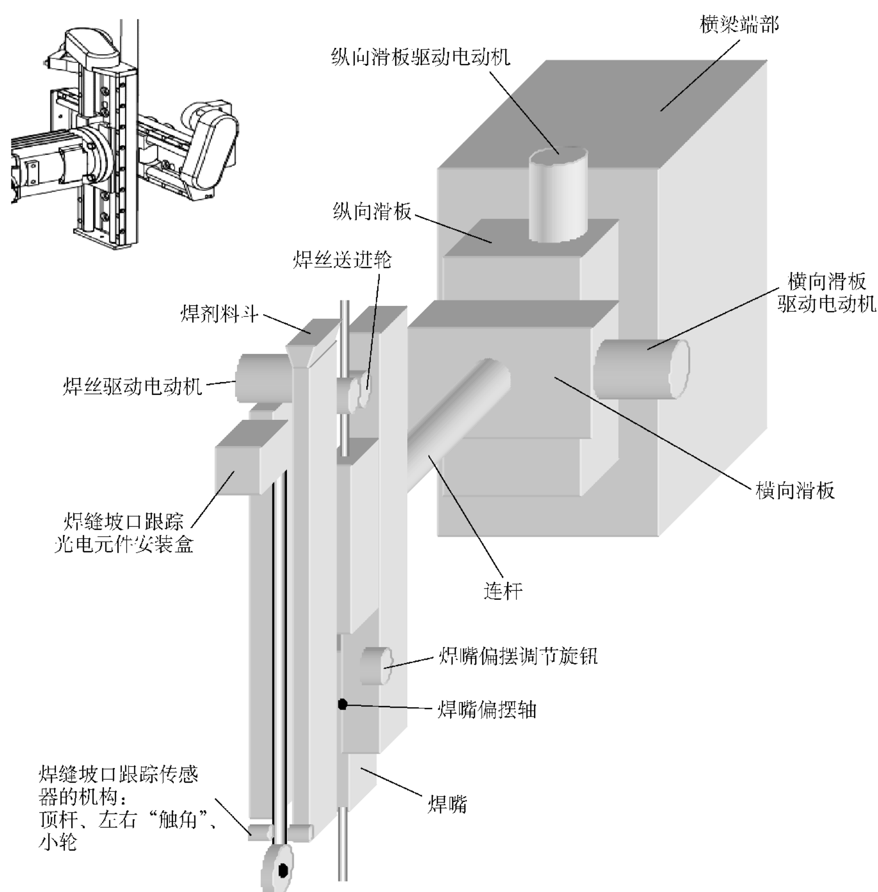


图 2-89　跟踪执行机构示意与纵向滑板、横向滑板结构图

在窄间隙埋弧焊机焊缝的坡口跟踪系统中，有两种实用坡口检测装置，图 2-90 所示为机械－光电式坡口检测装置、图 2-91 所示为激光坡口检测装置、图 2-92 所示也是机械－光电式坡口检测装置，目前以机械－光电式坡口检测装置应用的较为普遍和成熟。

要点 46　考查窄间隙埋弧焊机焊嘴的对中系统

在窄间隙埋弧焊接准备阶段，一项重要的程序动作是使扁平状的焊嘴顺利地伸入窄而深

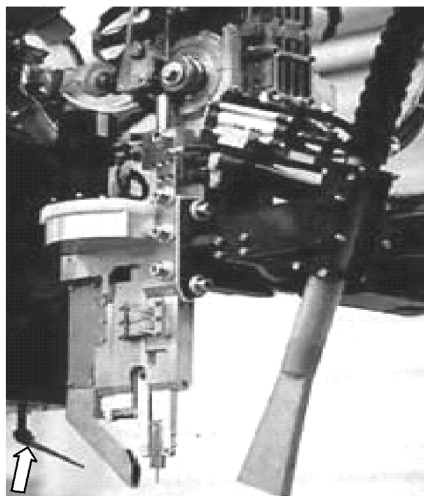


图 2-90 一种机械 – 光电式坡口检测装置

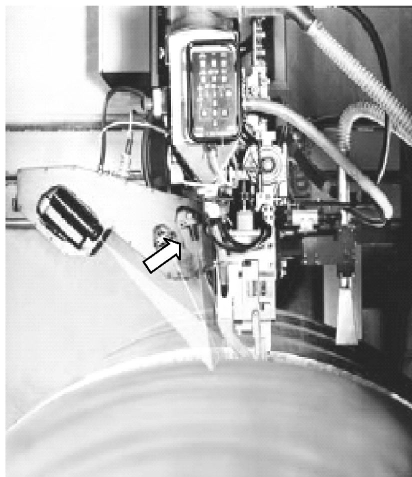


图 2-91 激光坡口检测装置

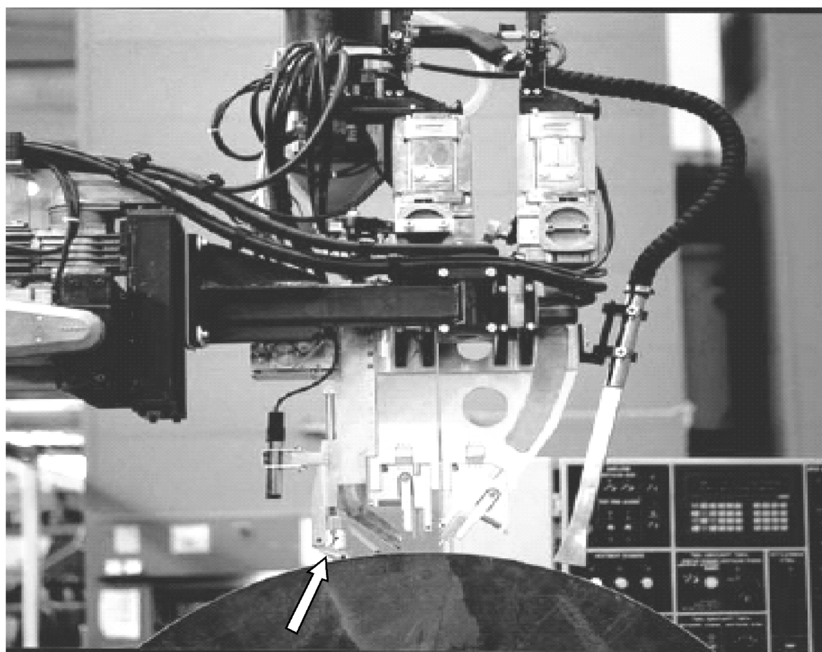


图 2-92 另一种机械 – 光电式坡口检测装置

的坡口内，并使扁平状焊嘴（端部导电嘴）的中心线恰好与坡口的中心线相重合，还要使焊嘴的端部恰好停留在待焊坡口的底部或已焊好焊道底部的上方一适当位置上，这一程序动作就是指焊嘴的对中，如图 2-93 所示。

实际上，采用焊嘴人工对中是行不通的，因为人工肉眼根本无法观察到窄间隙坡口的内部。所以只有解决了焊嘴的自动对中技术，才能实现窄间隙埋弧这种工艺方法。窄间隙埋弧焊机使用的焊嘴对中系统与焊头坡口跟踪属同一套系统，其对中原理与跟踪原理也完全相同。

要点47 注意环缝防窜辊轮架（转胎）性能

完成大型筒体件环缝埋弧焊，一般必须与焊接辊轮架（也称转胎，图2-94）相配套。这时，焊接辊轮架不仅是筒体件的支架，还要通过摩擦，以辊轮的旋转来带动筒体件一起旋转，完成筒体件环缝的焊接。

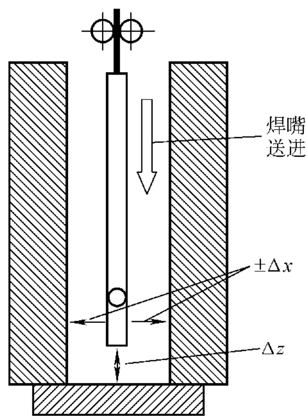


图2-93 焊嘴对中示意图

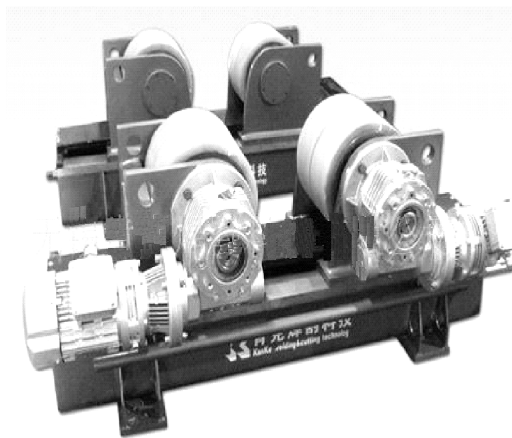


图2-94 焊接辊轮架

1）辊轮架辊轮的旋转速度乘以减速比（辊轮直径与筒体外径之比），就是环缝焊接速度。因此对焊接辊轮架的要求是：轮的旋转速度要平稳、且可调速，以适用于不同外径筒体焊件的焊接。

2）左右两边的辊轮架必须具备或机械或电气的“同步”旋转速度控制。

否则，必造成筒体焊件纵向中心线的偏斜，随之是焊件上的环缝歪斜（图2-95）。

因此从事筒体件结构焊接制造的厂家，在选购焊接辊轮架时，必须考查焊接辊轮架是否具有“同步转速控制”系统及控制精度是否满足要求。

现代重型焊接滚轮架最大的承载重量达1600t。

自动防窜滚轮架的最大承载重量达800t，采用PLC（可编程控制器）和高精度位移传感器控制，防窜精度为±0.5mm。

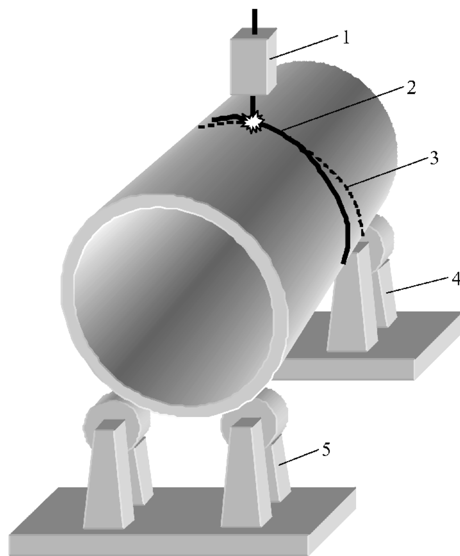


图2-95 主从辊轮架转速不同步造成筒体环缝歪斜
1—焊嘴 2—设计焊缝 3—实际偏斜焊缝
4—从动辊轮架 5—主动辊轮架

要点48 窄间隙埋弧焊机必须有可靠的焊剂送给与回收系统

埋弧焊的焊剂是埋弧焊的重要焊接材料，送入焊缝区的焊剂必须纯净、干燥。对窄间隙埋弧焊来说，限于结构的特殊性（悬臂式窄间隙埋弧焊机焊头尺寸已较大，不可能再将焊剂箱安装于焊头上），悬臂式窄间隙埋弧焊机就设计成一种落地式焊剂送进、回收、过滤与干燥处理的自动化系统（图2-96）。

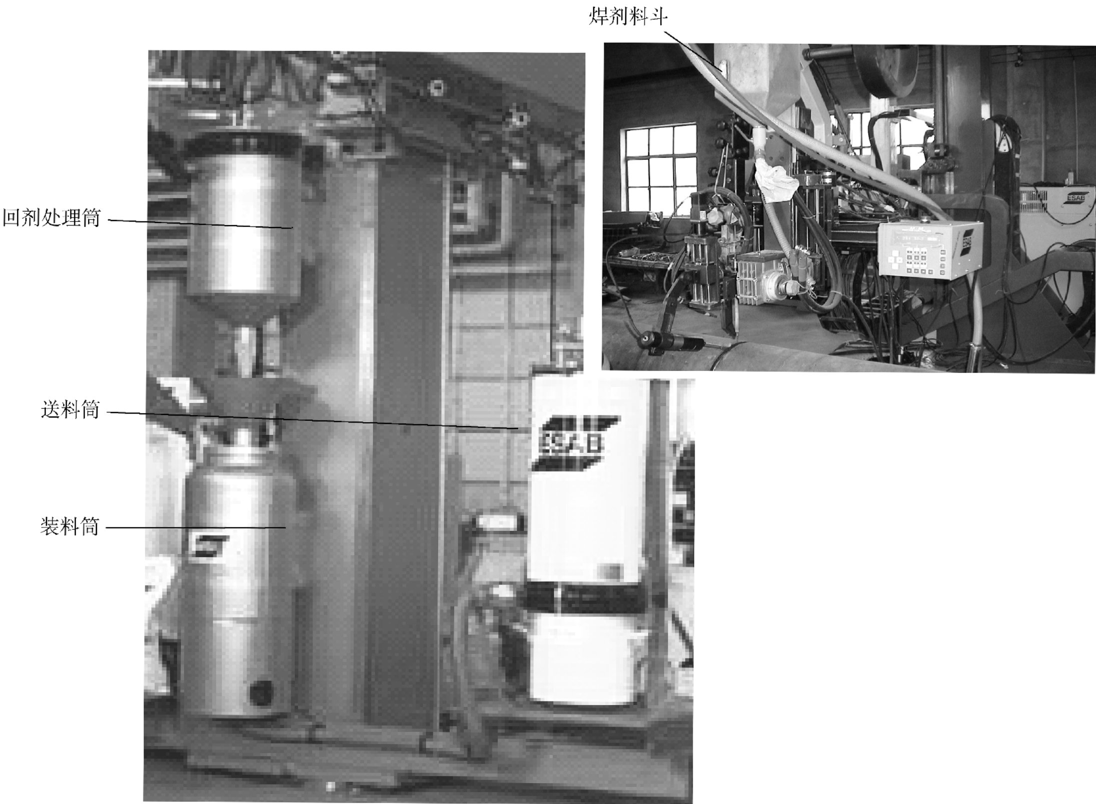


图2-96　埋弧焊工作站必须具备完善的焊剂送给与回收处理系统

要点49　注意埋弧焊机焊丝盘和送丝导管的可靠性

看似简单的焊丝盘（图2-97），如果结构设计得不完善，就容易出现松卷、卡丝和送丝不畅的弊病。其结果使正常的焊接被迫中断，如果发生在重大焊件的窄间隙埋弧焊过程中，其带来的损失远不止一个焊丝盘的价值。因此名牌产品埋弧焊机的焊丝盘设计得比较讲究。焊丝盘设计要求：装卸盘要方便、没有松卷、卡丝和送丝不畅的弊病。



图2-97　焊丝盘

对悬臂式窄间隙埋弧焊机来说，焊丝盘是安装在悬臂横梁的另一端，距焊头有10m左右，因此送丝导管的设计既要有一定的柔软性（因悬臂要伸缩和升降）又要保持送丝的顺畅。

要点50　重要结构焊接的埋弧焊设备必须选用监控系统完善的机型

埋弧焊设备在涉及石油化工、电站（包括核电）、锅炉、军工等钢结构中，都有大量应用。由于这些钢结构的材料多为低合金高强钢、耐热钢、不锈钢以及镍基合金等，它们都是一些热敏感钢（即热输入能量一旦过大，就容易产生焊接裂纹）。为此先进的埋弧焊设备中，都考虑到较完善的焊接参数监测系统。其中，最为重要的焊接参数有：

①焊接电流（有效值或平均值）；②电弧电压；③焊接速度；④焊接热输入。

图2-98示出了一种现代埋弧焊机的控制面板，可显示重要焊接参数，显示的焊接参数

不仅可给予操作者明确的提示，同时也是埋弧焊设备本身控制精度、稳定性是否优良的监测；还可以明示操作者，一旦发生焊接参数不正常变化，以便随时修改、校正。控制屏上的触摸键盘则是用来设定焊接模式和焊接参数，如图 2-99 所示。



图 2-98　一种埋弧焊机的控制面板

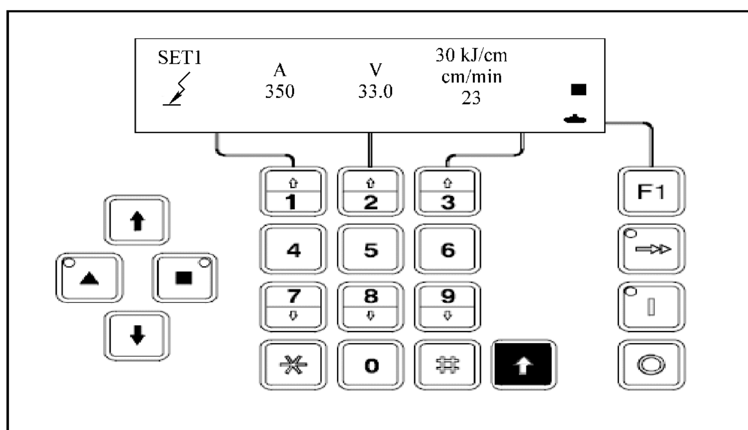


图 2-99　界面上显示了焊接电压、电流和焊接热输入参数

要点 51　悬臂式窄间隙埋弧焊机必须采用控制功能完善的系统

悬臂式窄间隙埋弧焊机是一台机电一体化的大型设备，是程序完全自动化的焊接装备，其中的控制系统所包括的控制对象和内容有（图 2-100）：

1）立柱的旋转与锁定。立柱旋转的驱动可使用交流电动机，立柱的锁定为一电磁驱动锁定装置，立柱的按钮调节应安装在方便控制的位置。

2）横梁的上升、下降驱动。可使用交流电动机，用按钮调节横梁的连续动作和点动，横梁的上升、下降调节按钮安装在三处：立柱上的位置、机头控制屏上、遥控盒上。

3）横梁纵向移动。为一直流电动机调速系统，焊接纵缝时，其直流电动机的起动与停止属于焊接动作程序控制，控制按钮设在机头的控制屏上；焊接环缝时，仍须横梁纵向移动，但此时，横梁纵向移动到一确定位置上就停止不动，其控制按钮与焊接纵缝时使用同一

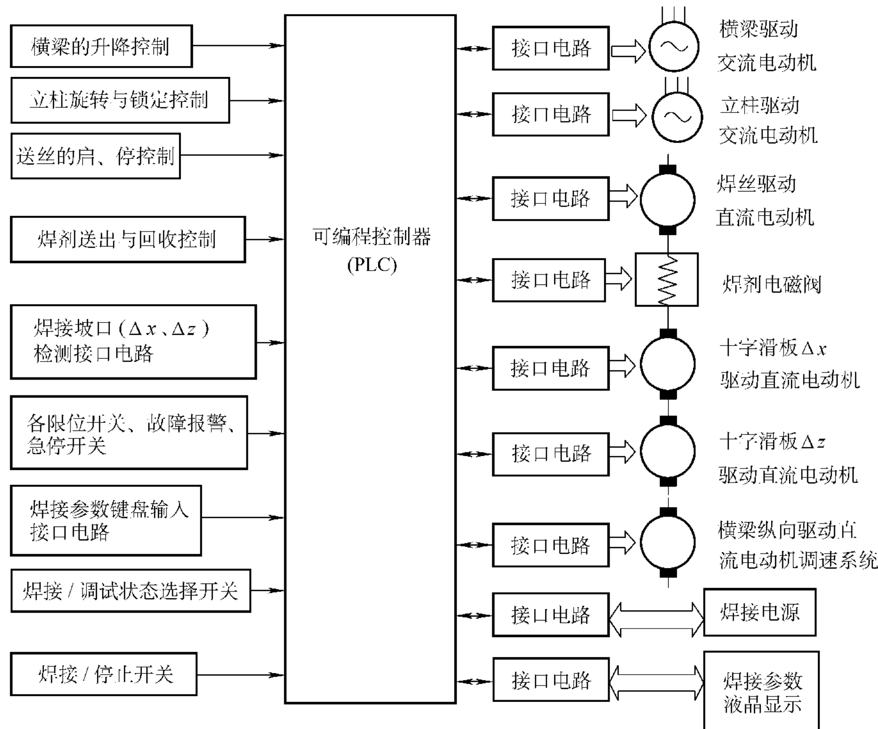


图2-100　悬臂式窄间隙埋弧焊机控制系统的结构框图

套按钮。焊接环缝时，焊接动作控制还应包括转胎的联动控制或与焊接变位机控制系统的联动控制。

4）焊接电源的控制。对焊接参数（电弧电流、电弧电压（弧长）、焊接速度、焊接热输入）给定、调节与程序控制、引弧的控制都属于对焊接电源的控制。

5）焊接程序控制。除了起动焊接电源外，还须起动送剂与回收系统、焊丝送给系统、焊缝坡口跟踪系统。

6）焊接准备、焊接过程的模式选择。在焊接准备、焊接过程中都须有参数显示系统的开启、自动与手动的转换选择、焊接与调试状态的转换、焊接送丝与调试送丝转换、焊头自动对中与坡口跟踪状态的转换等。

7）急停按钮的安排。主要考虑到任何状态下，整机的所有机械（包括联动转胎控制系统、焊接变位机控制系统）立即停止在当前位置，整机供电总闸跳开。急停按钮应在多处必要位置安装。

要点52　掌握“马鞍形”焊缝埋弧焊机的技术要点

在压力容器、锅炉、化工容器、核电站设备焊接结构的制造中，经常会碰到管－管“横接”的实例，如图2-101～图2-104所示。

从几何的角度看，一直径较小圆管（俗称子管）与一直径较大圆管（俗称母管）相互垂直相贯时（图2-105）接口焊缝的相贯线像一马鞍的形状。在实际焊接生产中，习惯称其为“马鞍形”焊缝。

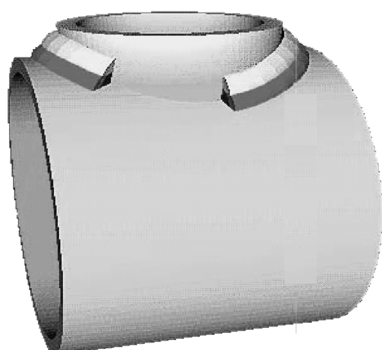


图2-101 “马鞍形”焊缝构成示意图

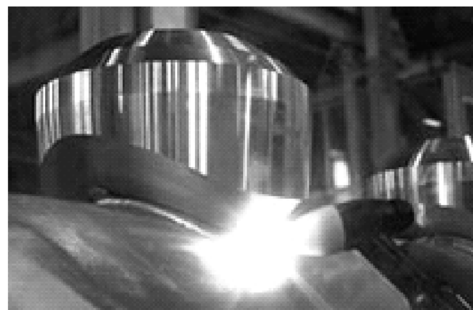


图2-102 “马鞍形”焊缝的坡口

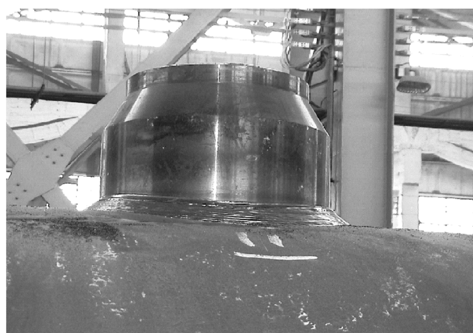


图2-103 锅炉汽包的“马鞍形”焊缝

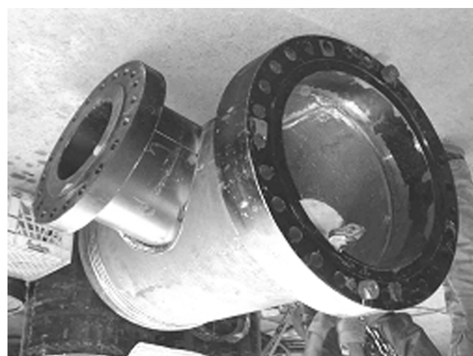


图2-104 管三通的“马鞍形”焊缝

1. “马鞍形”焊缝焊机焊嘴的位置伺服特点

1）“马鞍形”焊缝每道焊道施焊时，自动焊机焊头的焊嘴要依某一恰当的偏摆角度围绕子管旋转（图2-106中的变量 R）。

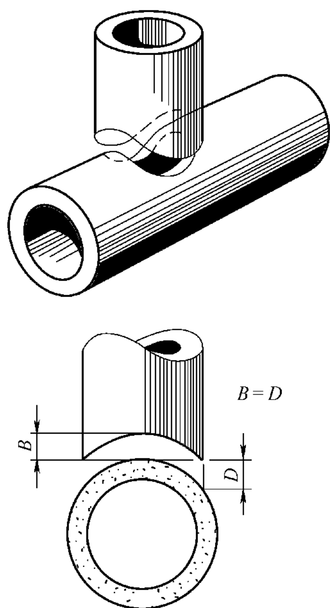


图2-105 “马鞍形”焊缝的几何解释

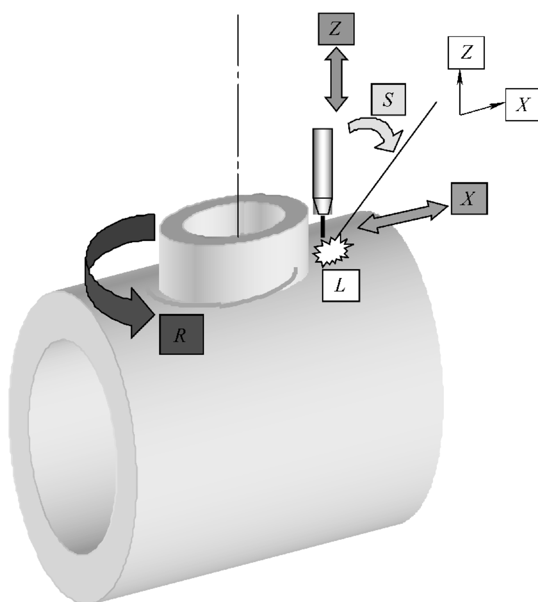


图2-106 “马鞍形”焊缝焊机焊嘴的动作伺服

2）焊头要随着“马鞍形”焊缝轨迹高度的变化而自动调整焊头的高度，以保持一定的弧长（图2-106中的变量Z）。

3）由于厚壁焊件的“马鞍形”焊缝往往是多道多层焊缝，因此除打底焊道外，完成每层焊道还要求调整焊头的横向移动距离（图2-106中的变量X）。

4）每层中的每道焊道的施焊，焊嘴都应有恰当的偏摆角度（图2-106中的变量S）。

2. “马鞍形”焊缝坡口特点

一般有“马鞍形”焊缝的焊件，多为大厚度钢板件，这些焊件又都是对焊接质量要求极高的重要压力容器类。因此对焊缝坡口的准备质量要求就十分严格；以锅炉汽包的“马鞍形”焊缝坡口准备（图2-107、图2-108）为例：锅炉汽包筒体上的“马鞍形”焊缝坡口和接管头焊缝坡口，都要求在气体火焰切割、等离子弧切割（粗加工）后，再进行机加工，一般是使用大型镗、铣床。


图2-107　筒体（母管）焊缝坡口


图2-108　子管焊缝坡口加工

3. 焊道次序特点

对“马鞍形”焊缝的焊道次序，一般根据焊件的具体情况，都事先严格规定好。例如图2-109中，对开好了V形坡口的焊缝，设计了五层、共15个焊道，焊道次序如图2-109所示。设计好的焊道次序就做为调节焊机各个动作伺服的依据。

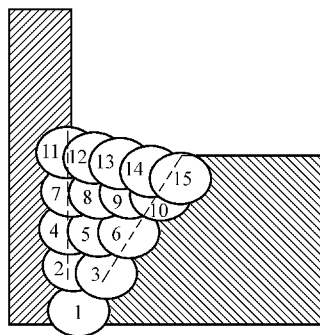


图2-109　“马鞍形”焊缝焊道安排

4. “马鞍形”焊缝焊机架的特点

“马鞍形”焊缝焊机架有半自动焊机架（图2-110）与全自动焊机架（图2-111）两种类型。

前者，焊嘴偏摆角调节、每层焊道焊嘴的提升调节都是以手动方式进行；随着数控技术、微（计算）机控制技术的推广应用，国内外已相继研制出微机控制“马鞍形”焊缝SAW（埋弧焊）焊机（图2-112）、“马鞍形”焊缝FCAW（药芯焊丝电弧焊）全自动焊机。这种微机控制“马鞍形”焊缝埋弧焊机在人工对中子管中心线后，每道焊缝的焊接，除需人工清渣外，都是自动进行的，即连每层焊道的搭接量和一层上焊缝的搭接量都可以由微机自动调节、储存，这就减少了大量重复焊接状况的调机时间。图2-113是其自动焊机的机架机械伺服结构。

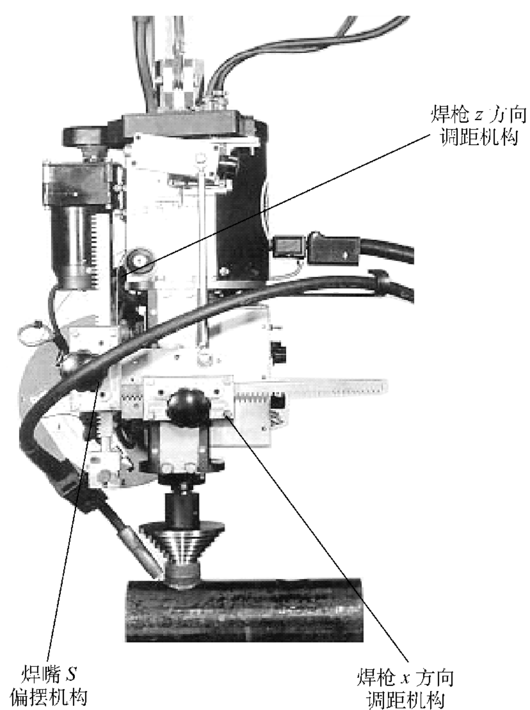


图 2-110 手动调节“马鞍形”焊缝焊管机

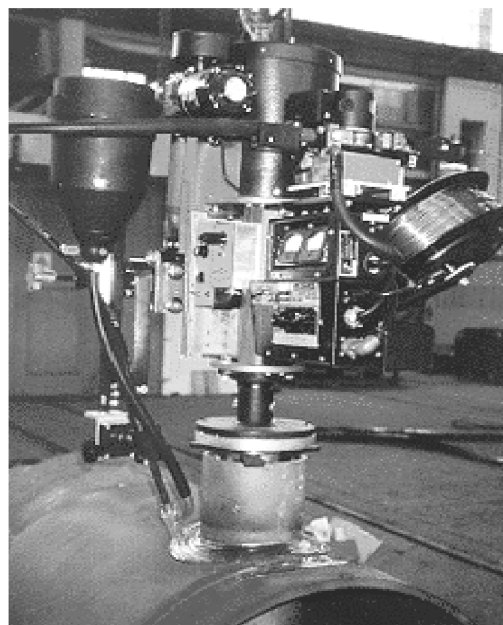


图 2-111 “马鞍形”焊缝自动焊管机

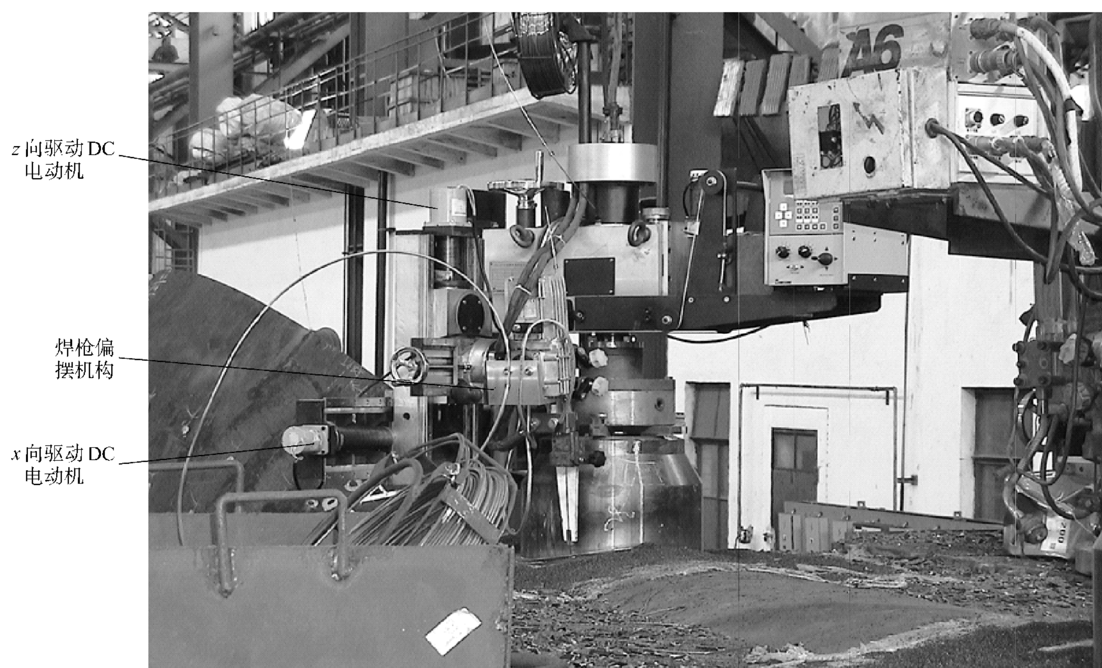


图 2-112 “马鞍形”焊缝 SAW 焊管机（北京“中电华强”）

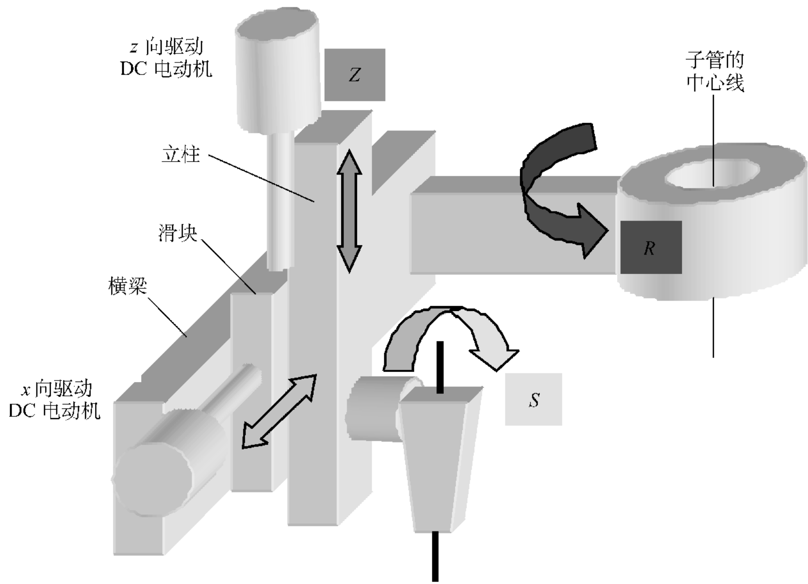


图 2-113 “马鞍形”焊缝自动焊管机的机械伺服结构

5.“马鞍形”焊缝焊接同步速度补偿问题

进行“马鞍形”焊缝埋弧焊时，焊接电弧的几何中心点在绕子管一周的过程中，会有以下几种焊接状态：A（点）—B（点）的下坡段、B—C 的上坡段、C—D 的下坡段、D—A 的上坡段（图 2-114）。在上坡段与下坡段，理论上的焊接速度瞬态矢量 V_W 如矢量图所示。

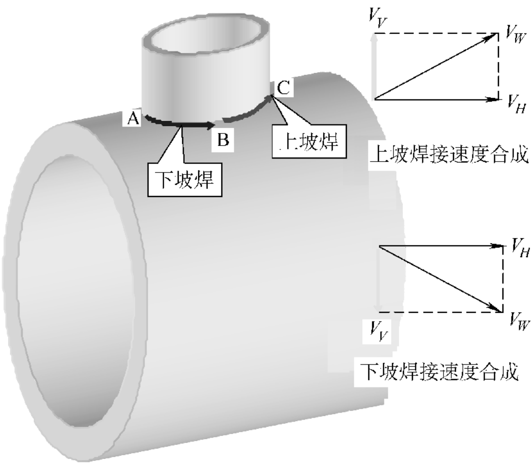


图 2-114 马鞍形焊缝焊接的速度合成

由矢量图看出：焊接速度瞬态矢量是垂直速度瞬态矢量 V_V 与水平速度瞬态矢量 V_H 的合成矢量。

在上坡段与下坡段，垂直速度瞬态矢量 V_V，是由焊嘴 z 轴自动调节系统自动产生的，它是个数值大小与方向随上坡段与下坡段的变化而变化的矢量，但在马鞍形焊道 A、B、C、D 各点的附近短段数值不大，可看作为零。

水平速度瞬态矢量 V_H 是 r 向的旋转伺服速度，如果以恒定数值的速度旋转，那么根据速度合成矢量图得知：上坡段与下坡段的焊接速度 V_W 变快了，因此要一定程度地减小 r 向的旋转伺服速度 V_H，以便补偿焊接速度 V_W 的变快。在微机控制的“马鞍形”焊缝埋弧焊自动焊机中，一般就考虑了 r 向的旋转伺服速度 V_H 补偿问题。

6. 马鞍落差调整（z 向伺服）系统的构成

“马鞍形”焊缝埋弧焊机，对焊嘴的 z 向伺服系统，也称为马鞍落差调整系统。

焊嘴的 z 向伺服有两个含义：

一是焊完一层后，将整个焊嘴提升一层的距离。

二是在一个焊道的焊接过程中，为保持给定的弧长不变，而引入的弧长自动调节系统。综合上述两因素，马鞍落差调整系统的构成框图，如图2-115所示。

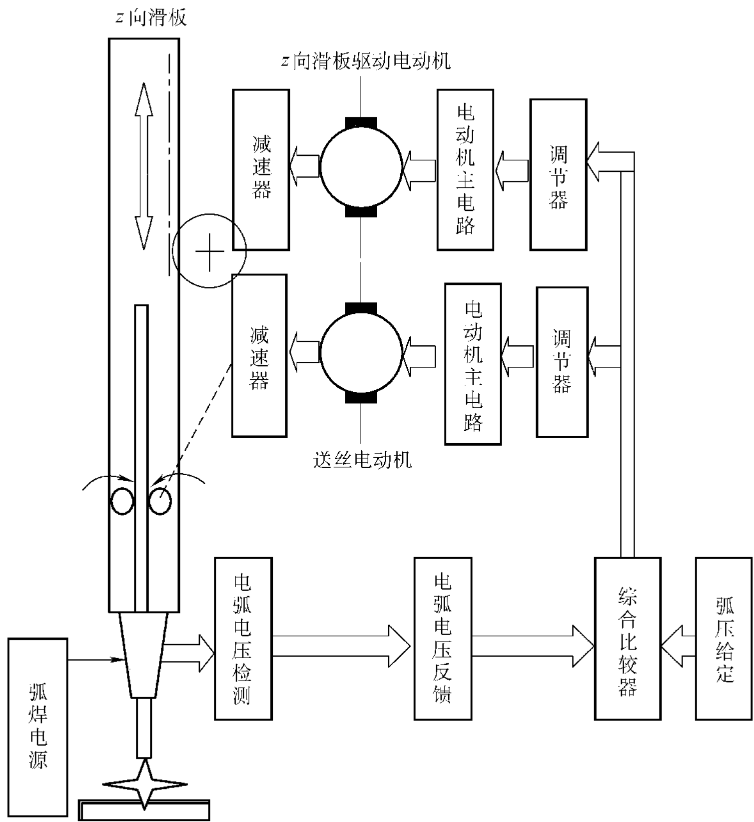


图2-115　马鞍落差调整（z向伺服）系统的构成

图2-116是北京中电华强生产的“马鞍形”焊缝全自动焊机的控制台。

该焊机由“马鞍形”焊缝焊机本体、配置ESAB（瑞典）或LINCOLN（美）焊机、控制箱等部分组成，应用于回转直径300～1000mm的筒体与管座的正交角焊缝的埋弧焊接。

该焊机具有专门设计的马鞍形运动机构及马鞍同步速度补偿，马鞍落差（即z向）可达90mm，能实现焊接过程中调整马鞍落差；能够数字设定、显示焊接参数。



图2-116　“马鞍形”焊缝SAW焊管机的控制箱面板

通过软件编制能预置十套焊接参数，焊接过程中不用停机随时调用，即焊接参数能够在线调整、焊后根据要求可存储或取消修正后的参数。

要点53　带极埋弧堆焊设备要点

由于厚板压力容器的焊接技术中，需大量采用在材料为高强钢压力容器壳体的内表面堆

焊不锈钢、镍基合金等材料，这就使带极埋弧堆焊成为厚板压力容器的主要堆焊工艺。为此，开发了用于厚板压力容器的筒节和封头的带极埋弧堆焊专机。

1）小车式机架带极埋弧堆焊机。图 2-117 所示的小车式机架带极埋弧堆焊机特点是使用灵活性好、设备的成本也低，但如果用于批量生产容器的场合，由于堆焊每个焊道都要调整焊头的位置，这给焊接工作带来不便，这是其不足之处。

2）悬臂式带极埋弧堆焊专机（图 2-118）正是为弥补小车式机架不足而设计的，其主要技术措施就是焊头位置调整装置采用数字式步进系统，该系统可根据堆焊工艺参数精确自动调整堆焊焊道重叠量，从而确保堆焊焊道的均匀性。

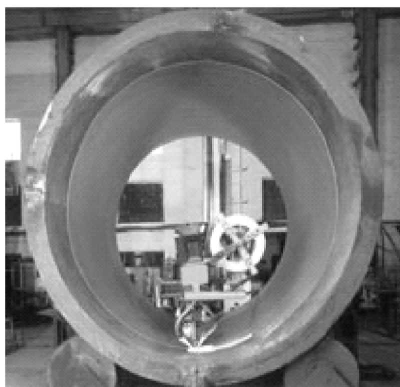


图 2-117　筒节内壁的带极堆焊小车

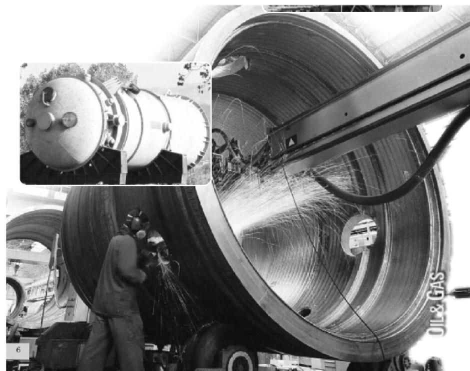


图 2-118　高压筒体内表面带极堆焊

3）大型封头埋弧堆焊专机。大型封头堆焊时，焊头要伸入到凹型封头中，这样，就需要在悬臂式横梁的端部，安装增加焊头垂直方向移动距离的可伸缩立向杆，以便随凹形封头焊件倾角改变，调节立向杆立向移动距离（图 2-119）。



图 2-119　大型封头内表面的带极堆焊

堆焊时，焊机的悬臂也必须随凹形封头倾角改变调节横向伸缩距离，由于每道堆焊焊道之间的距离（即邻近堆焊焊道的重叠量）有一定的精度要求，因此悬臂横向伸缩距离的调节最好是数字式调节，这样一来，与通用型悬臂式埋弧焊机通常采用直流电动机调速系统就不尽相同了，即堆焊用悬臂式埋弧焊机注重的是悬臂伸缩位置量控制，至于能否调速则不必要。

大型封头的带状电极埋弧堆焊，一般必须用大型焊接变位机（图 2-120）；所谓大型变位机，其工作台面的旋转是采用调速精度较高的直流电动机调速系统，而工作台面的倾斜也可电动调整，还会给出速度和倾斜角的数字显示。

但凡碰到大型封头的埋弧堆焊（图 2-121），一般多是重要结构上的封头部件。对这种大型封头的堆焊，无论焊接工艺、焊接设备、焊接材料的选择都要求做到细致周到。其中，对焊接变位机的选用就必须注意以下几点：

① 焊接变位机在大承重条件下，能否保证工作台面旋转速度的稳定性和精度（因这个

工作台面旋转速度，就是封头圆周方向的堆焊速度（图2-122中参量r）。

② 焊接变位机必须以数显方式给出工作台面的倾角变化（图2-122中参量θ）的差值（因这个倾角的变化差值是改变封头径向堆焊焊道偏移量的依据之一）。

③ 焊接变位机的控制系统是否考虑了与焊接主机的接口（因焊接变位机要与焊接主机联动）。

④ 大型封头堆焊用焊接变位机是否考虑了封头可靠装夹的问题。

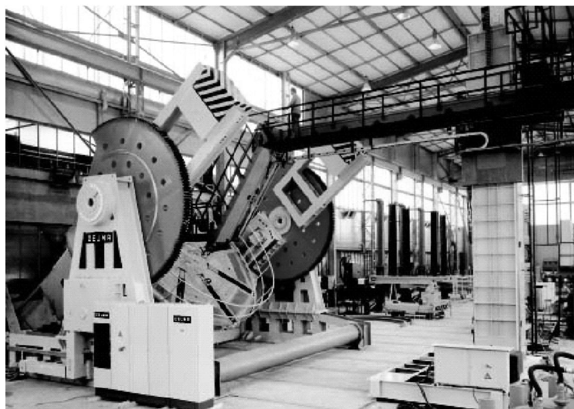


图2-120　大型变位机

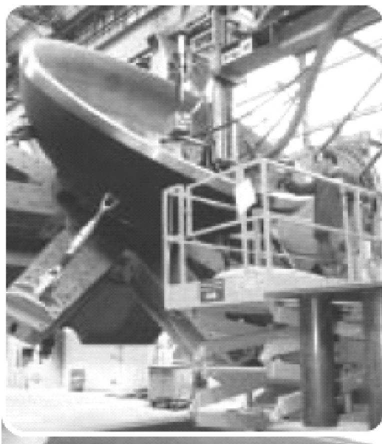


图2-121　大型封头的埋弧堆焊

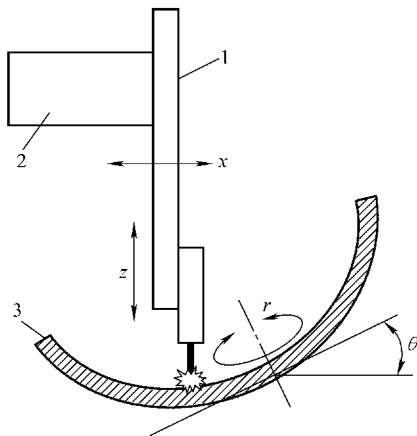


图2-122　封头埋弧堆焊的机械调节参量

1—立向杆　2—焊机悬臂　3—焊件

x—焊机悬臂横向伸缩量　z—立向杆立向伸缩量

r—变位机转动（堆焊速度）　θ—变位机倾角

⑤ 除了焊接变位机的主控制箱外，是否考虑了遥控盒，因为大型封头堆焊时还要将焊件进行预热（150～200℃），操作现场温度很高，不便人员近前操作（图2-123）。

基于以上几点，大型封头堆焊用的焊接变位机，虽说是附属设备，但却是焊接关键部件用的重大装备之一，要达到以上几点要求，通常使用微机控制系统对焊接变位机与埋弧焊机进行联动控制。

4）带极的送进机构必须稳定又可靠，否则，难以保证稳定的堆焊过程；对较宽的带极埋弧堆焊，有时还可采用轴向外加磁场或横向交变磁场，来有效地提高宽带堆焊层的堆高和熔深均匀性。

5）完成大型筒体内表面带状电极埋弧堆焊，必须与焊接辊轮架（也称转胎）相配套，这时，焊接辊轮架不仅是筒体的支架，还要通过摩擦，以辊轮的旋转来带动筒体一起旋转，完成筒体的堆焊环缝。辊轮架辊轮的旋转速度乘以减速比（辊轮直径与筒体外径之比），就是环缝焊接速度。因此对焊接辊轮架的要求是：辊轮的旋转速度要平稳且可调速，以适用于

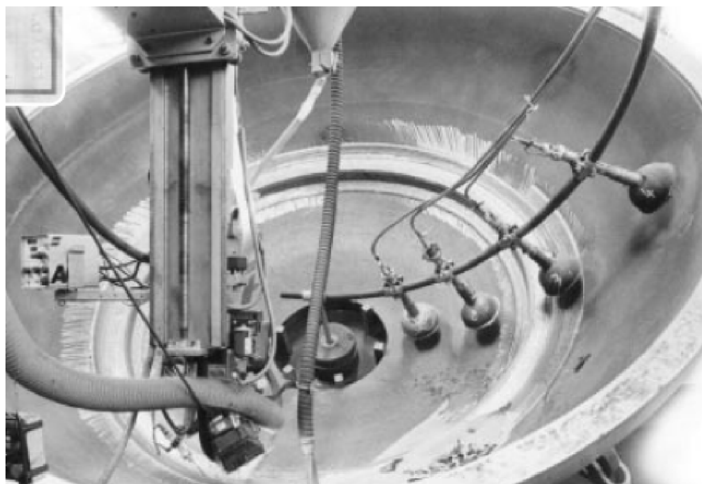


图 2-123　大型封头堆焊的加热装置

不同外径筒体的焊接；左右两边的辊轮架（如果是使用两套辊轮架）必须有或机械或电气的“同步”旋转速度控制，否则，必造成筒体纵向中心线的偏斜，随之是焊件的环缝歪斜。

第 3 章　气体保护焊

3.1　气体保护焊工艺要点

要点 54　气体保护焊的类型

熔化极气体保护焊（GMAW），是利用气体来保护金属熔滴、焊接熔池和焊接区高温金属不受空气作用的电弧焊方法（图 3-1）。

常用的保护气体有惰性气体（如氩气）、还原性气体（如氢气）、氧化性气体（如二氧化碳等）。

焊接过程中，这些保护气体在电弧周围形成局部的气体保护层，防止有害于熔滴和熔池的气体侵入，保证焊接过程的稳定。

由于保护气体对弧柱有压缩作用，使电弧热量集中，熔池体积小，因而焊接热影响区和焊接变形小。

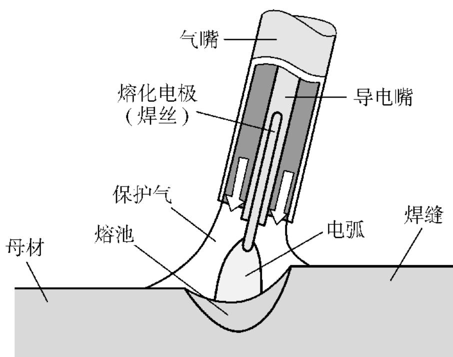


图 3-1　气体保护焊原理示意图

熔化极气体保护电弧焊是以焊丝作电极并在气体保护状态下进行焊接的一组焊接方法的统称。

根据所用气体不同，又具体分为：

1）熔化极惰性气体保护焊（MIG）。

2）熔化极活性混合气体保护焊（MAG）。

3）CO_2 气体保护焊（CO_2 焊）。

4）药芯焊丝气体保护焊（FCAW）。

5）脉冲电流焊（MIGP）、窄间隙焊接（NG－MAG）和气体保护立焊（EGW）则是上述方法在特定条件下的衍生类型。

要点 55　一般材料的气体保护焊不采用纯氩气保护

纯氩气保护焊容易出现表面凸起、边缘不整齐、焊道弯曲呈蛇行状焊缝（图 3-2）。在氩气中加入 O_2、CO_2、H_2、N_2 及负电元素 F（氟）、Cl（氯）等，可以降低熔化金属的表面张力，改善其流动性，使母材与熔化金属润湿良好，从而获得表面圆滑而平直的焊缝。同时，活性气体对于稳定电弧形态，提高焊接速度和消除气孔也有明显的好处。

要点 56　药芯焊丝气体保护焊不宜采用长弧焊

药芯焊丝气体保护焊（FCAW）是一种气渣联合保护焊接法，使用管状焊丝，因焊丝内部包含有大量不导电焊剂，易使电弧沿管状钢皮旋转，稳定性变差，飞溅较大，焊缝成形不良。因此用管状焊丝焊接时，可采用较短的焊丝伸出长度和较大的焊接电流，使弧长较短，以获得优质焊缝，如图 3-3 所示。

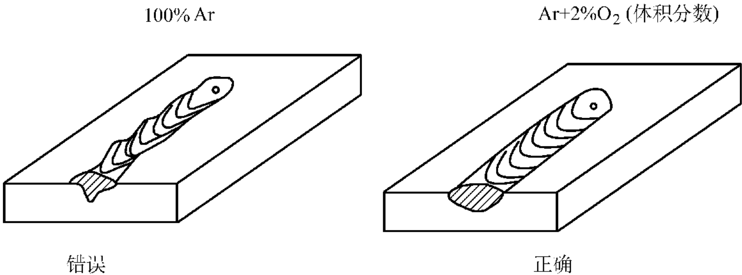


图3-2 添加气体对焊缝成形的影响

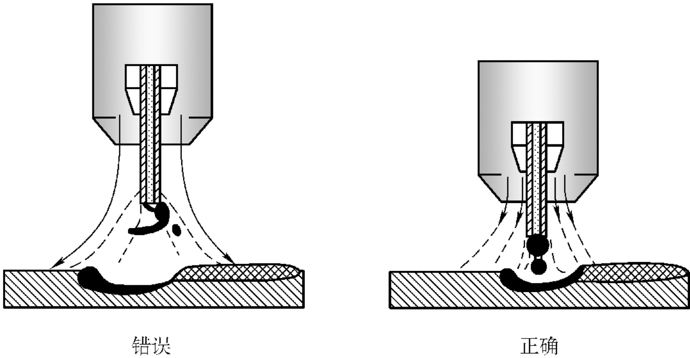


图3-3 使用药芯焊丝忌用长弧焊

要点57 如何避免坡口侧壁熔合不良缺陷

窄间隙焊接（NG－MAG）一般采用I形和夹角很小的U形坡口（图3-4），以单道多层

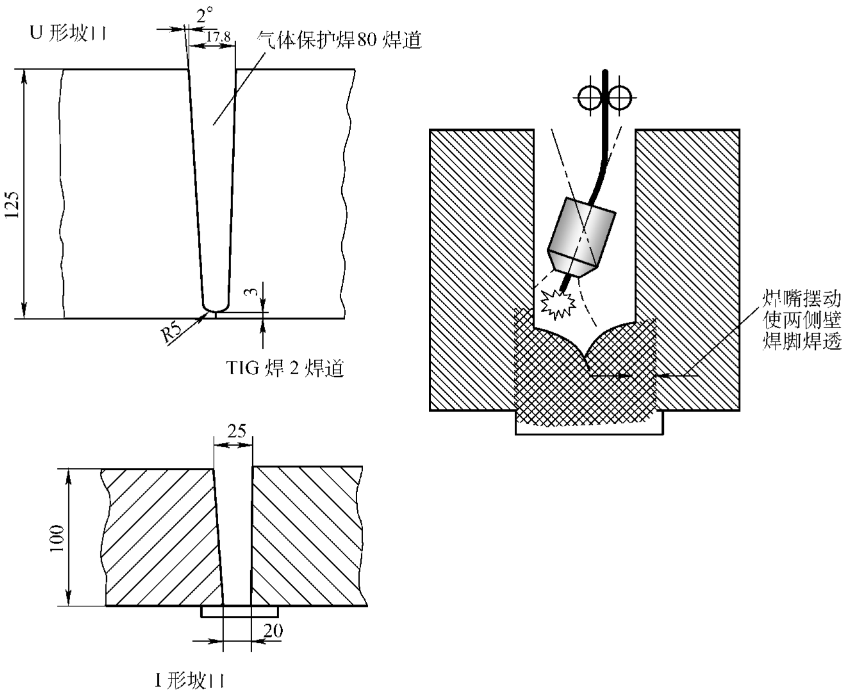


图3-4 窄间隙焊接焊嘴须摆动

焊和多层多道焊方式实现大厚度板的连接。窄间隙焊接通常遇到的缺陷是侧壁或焊道之间未熔合。这主要是焊丝位置不当造成的。采用摆动或旋转电弧、脉冲电流与正极性接法可以避免产生侧壁熔合不良、夹渣、气孔等缺陷。

而对大厚度板的气体保护焊，用多层多道焊方式实现大厚度板的连接，所用典型坡口形式如图 3-5 所示。

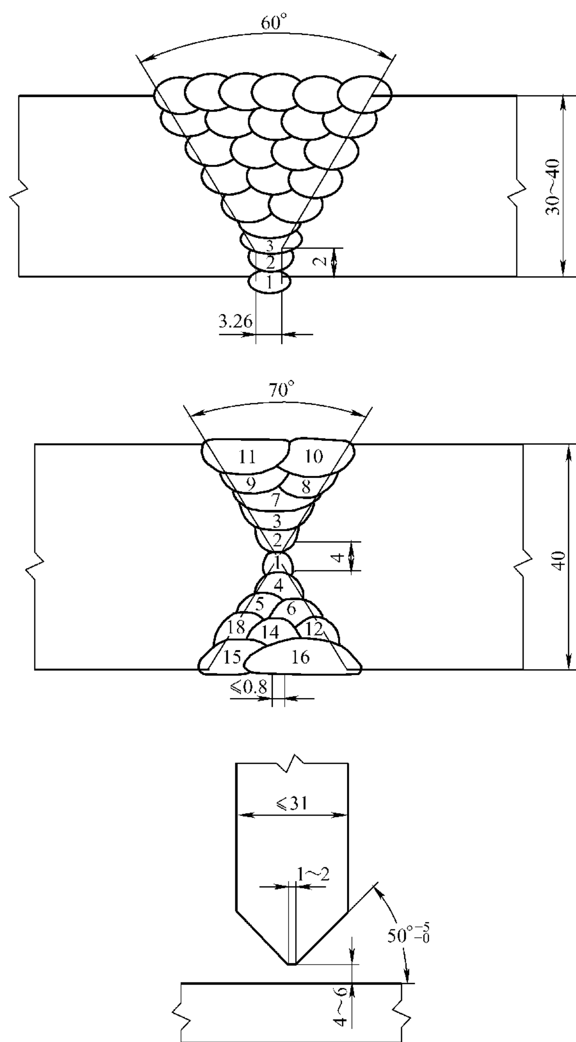


图 3-5　厚板坡口形式

要点 58　MIG 焊不宜使用单一氩气

在氩气保护下电弧燃烧稳定、飞溅极小，价格较氦气便宜，是最常用的惰性气体。但使用单一氩气作保护焊缝成形不好，特别是射流过渡焊接时焊缝呈蘑菇形，在其根部容易产生气孔和熔透不足缺陷。纯氦气保护电弧温度高、熔深大、焊接速度快，但成本较高。以氩气为基体，加入一定数量的氦气后（图 3-6）可获得两者所具有的优点，是焊接铝、钢、钛、

铝及其合金的理想气体。

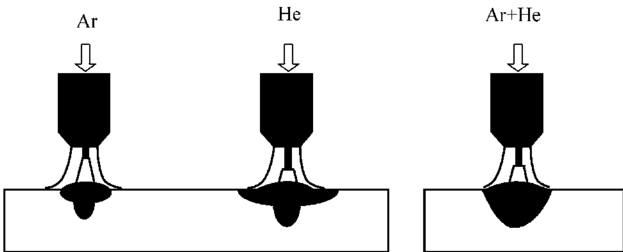


图3-6 MIG焊掺合氦气对焊缝成形的影响

要点59 CO_2气体保护焊不使用普通焊丝

CO_2气体是一种活泼气体，具有较强的氧化性。特别是在电弧高温下，CO_2会分解出原子氧，具有强烈的氧化作用，使焊丝及熔池中的铁及合金元素烧损，同时也是造成飞溅、夹渣和形成气孔的主要原因。因此CO_2焊接必须使用含有Si、Mn等脱氧元素的焊丝（图3-7）。

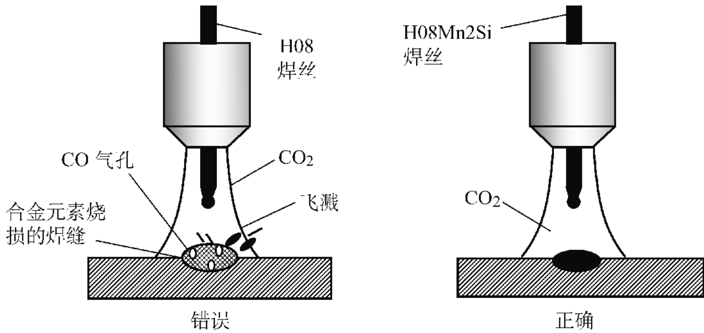


图3-7 CO_2焊接工艺忌用普通焊丝

要点60 CO_2气体保护焊电弧长度不宜太长

短路过渡可用于焊接薄板和进行空间全位置焊接，是CO_2焊常用的焊接方法。但短路过渡时电弧长度不宜过长，否则熔滴悬挂过长，在斑点压力下随电弧飘摆，形成大滴过渡（图3-8），影响电弧稳定性。

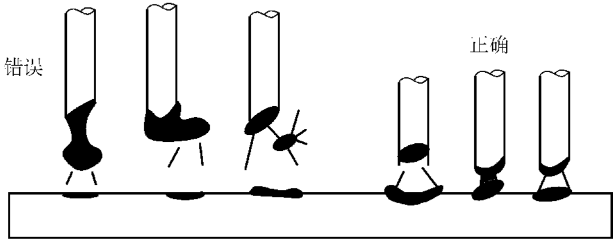


图3-8 电弧过长影响短路过渡稳定性

要点61 影响气体保护焊熔滴过渡形态的主要条件

气体保护焊熔滴过渡形态有三种：短路过渡、射滴过渡和射流过渡（图3-9）；短路过渡这种形式在CO_2焊接与MIG小电流焊接时产生，低电压区焊接时尤为显著，应用于熔深较浅的薄板焊接。焊接时电极前端的熔融部分逐渐变成球状并增大形成熔滴，与母材熔池里

的熔融金属相接触，借助于表面张力向母材过渡。短路过渡易形成一个较小的、迅速冷却的熔池，适合于全位置焊接。

射滴过渡：在某些条件下，形成的熔滴尺寸与焊丝直径相近，焊丝金属以较明显的分离熔滴形式和较高的速度沿焊丝轴向射向熔池的过渡形式，称为射滴过渡。

射流过渡：在某些条件下，因电弧热和电弧力的作用，焊丝端头熔化的金属形成笔尖状，以细小的熔滴从液柱尖端高速轴向射入熔池的过渡形式，称为射流过渡。这些直径远小于焊丝直径的熔滴过渡，频率很高，看上去好像是在焊丝端部存在一条流向熔池的金属液流。

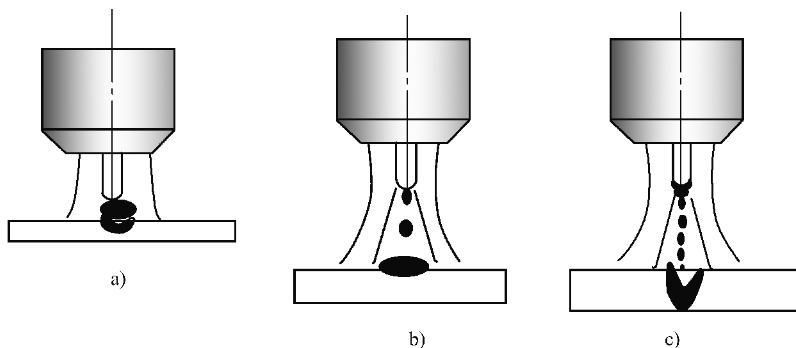


图 3-9　熔滴过渡的形态

a）短路过渡　b）射滴过渡　c）射流过渡

在射流过渡状态下，焊接过程稳定，飞溅极小，适合于全位置焊接。但焊接电流较小时只能获得大滴过渡和射滴过渡。只有焊接电流超过射流过渡临界电流后（图 3-10），熔滴过渡才发生明显变化，熔滴过渡频率急剧增加，熔滴尺寸急剧减少，焊接过程稳定。因此临界电流是产生射流过渡的主要条件。

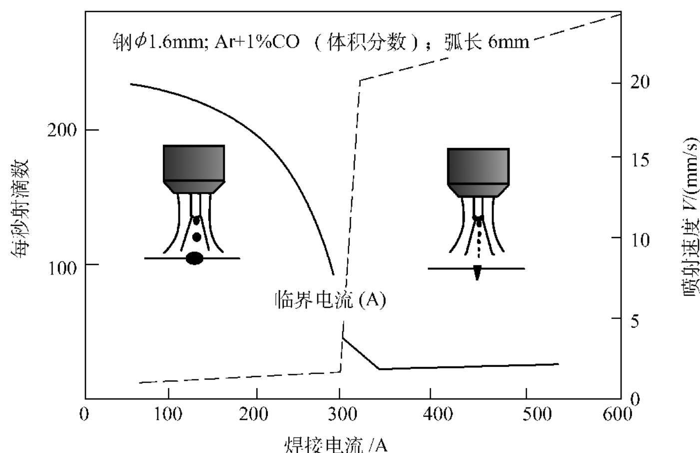


图 3-10　形成射流过渡的临界电流

但铝及其合金焊接时，通常采用射滴过渡方式。在此种状态下，焊接电流稳定，焊缝熔深和熔宽比合适，根部熔化状态好，并可减少焊缝产生氧化和气孔倾向，有利于提高焊缝质量。而采用射流过渡时，电弧对铝焊缝的冲击较大，常使铝焊缝的熔深呈蘑菇状，冷却时易在根部出现气孔和裂纹。

要点62 处于任何过渡状态的气体保护焊电弧电压都不宜过低或过高

在短路过渡状态，电弧电压的变化将改变短路过渡频率和熔滴飞溅的大小。弧压过高，短路消失，弧长变长，熔滴过渡呈滴状方式，熔滴过渡轴向性差，飞溅大，工艺过程不稳定；相反，弧压太低，弧长过短，可能引起焊丝与熔池的固态部分短路，使焊丝大段熔断，如图3-11所示。

在射滴过渡状态，电弧电压过低，使电弧在弧坑底部燃烧，上部金属加热不足，形成梨形焊缝（图3-12），会导致裂纹产生。电弧电压过高，熔滴飞落距离长，电弧轴向性减弱，飞溅增大。因此在焊接过程中，应保持电弧电压与焊接电流合理匹配关系，以获得良好的焊缝成形。

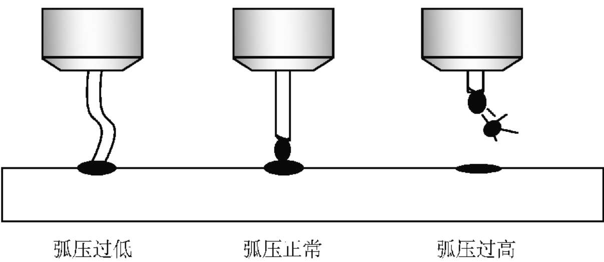


图3-11 电弧电压对短路过渡焊缝成形的作用

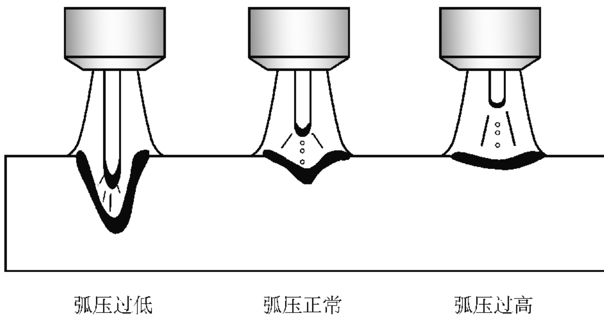


图3-12 电弧电压对射滴过渡焊缝成形的作用

要点63 焊接电流不宜超出一定的调节范围

在一定条件下，焊接电流过大会使电弧对熔池冲击力增大，电弧不稳定，并使焊缝成形变坏（图3-13）。

焊接电流太小，焊接电弧不稳定，焊缝成形不良。因此焊接电流应根据焊件厚度、坡口形式、焊丝直径和所要求的熔滴过渡形式来选择，并与一定的电弧电压相匹配，不宜超出一定的调节范围。

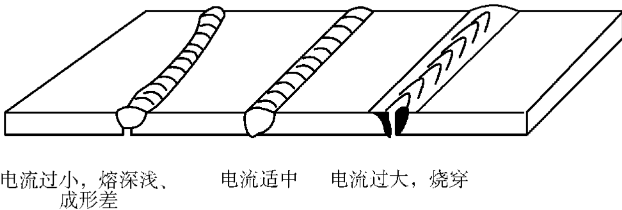


图3-13 焊接电流对成形的影响

要点 64　焊丝伸出长度不宜过长

焊丝伸出长度对焊丝的熔化速度和电弧的稳定性影响较大。如果焊丝伸出长度过大，焊丝容易因过热而成段熔断，电弧失稳，操作困难，同时也会因飞溅较大而使焊缝成形恶化，严重时会破坏保护而产生气孔。当然，焊丝伸出长度过小，也会因导电嘴过热而夹住焊丝，甚致烧毁导电嘴，使焊接过程中断（图 3-14）。

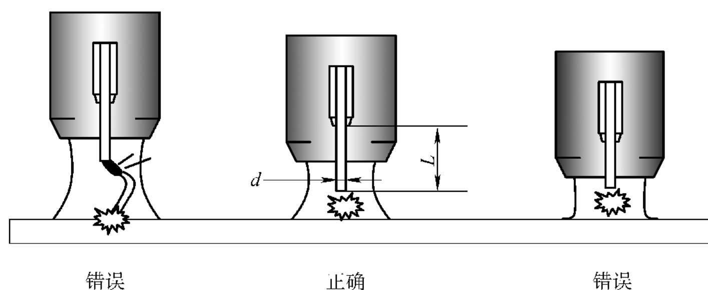


图 3-14　焊丝要有合适的伸出长度

要点 65　半自动气体保护焊一般采用左焊法

半自动气体保护焊多用左焊法（图 3-15），其特点是易观察焊接方向。熔池在电弧力的作用下熔化金属被吹向前方，使电弧不直接作用到母材上，熔深较浅，焊道平坦且较宽，保护效果好。在要求焊缝有较大熔深和较小飞溅时，也可用右焊法，但右焊法不易得到稳定的背面焊道，焊道高而窄，易烧穿，故不宜采用。

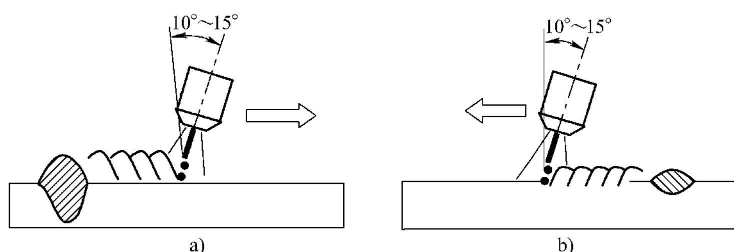


图 3-15　半自动气体保护右焊与左焊法
a）右焊法　b）左焊法

要点 66　焊缝端头的处理手法

焊接开始处，因母材温度较低，焊缝熔深往往较浅，容易引起母材和焊缝金属熔合不良。为避免出现焊缝缺陷，应使用引弧板或用倒退法进行焊接（图 3-16）。

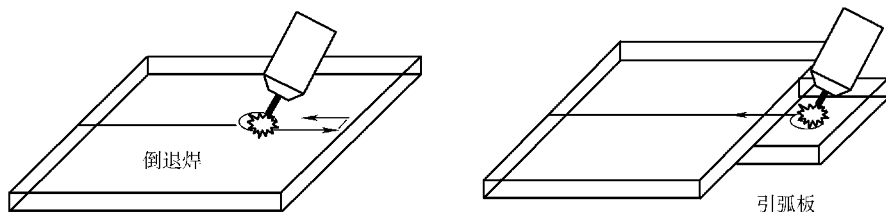


图 3-16　焊缝端头的处理

要点 67　焊道连接时不宜在弧坑处直接引弧

在前焊道结束的弧坑处直接引燃电弧，必将产生接头未熔合、焊缝凸起等缺陷。正确的

方法是：在弧坑前方 10 ~ 20mm 处引弧，然后将电弧引向弧坑，待熔化金属与原焊缝金属熔合后，再将电弧引向前方，或从中心开始摆动前进，进行正常焊接（图 3-17）。

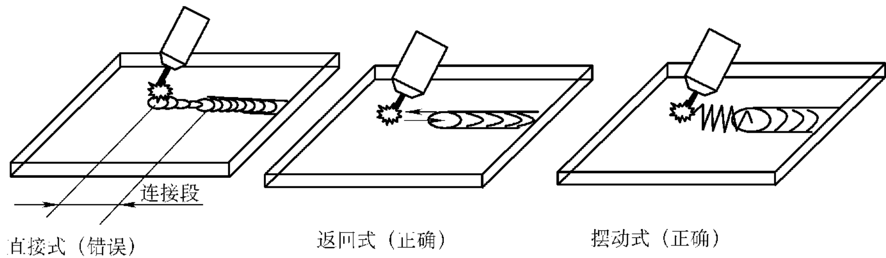


图 3-17　焊道的连接方式

要点 68　焊接收尾不应留下弧坑

在焊道末尾，由于熔化金属厚度不足，而产生裂纹和缩孔。为了消除弧坑，可使用带有弧坑处理程序（图 3-18）的焊机。

该程序在弧坑位置能自动地将焊接电流减少到原来电流的 60% ~ 70%，同时电弧电压也降到合适值，自行将弧坑填平。还可采用多次断续引弧填平弧坑。

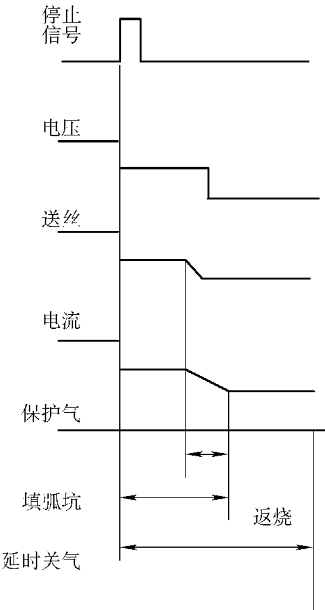


图 3-18　填平弧坑的停止程序

要点 69　几种气体保护焊操作手法

1. 薄板小间隙单面焊

焊接时应设法增大电弧的穿透能力，使之熔透。此时焊丝应近乎垂直地对准熔池前部，焊枪直线前进（图 3-19）。而坡口间隙稍大时，应注意避免烧穿，焊丝应指向熔池中心，并进行适当摆动。

2. 坡口间隙为 1.2 ~ 2mm 的情况

一般采用月牙形小幅摆动。焊枪在焊缝中心移动稍快，而在两侧停留片刻，一旦发现烧穿征兆，就应加大摆幅来调整熔池的加热（图 3-20）。

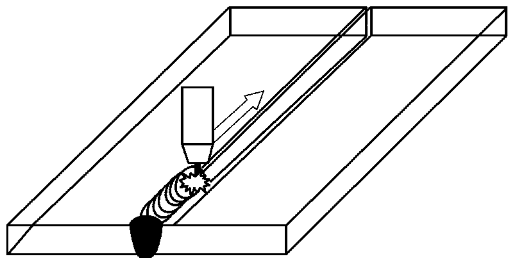


图 3-19　薄板小间隙单面焊手法

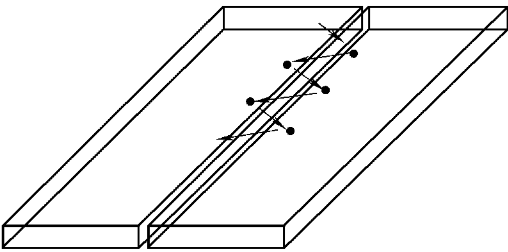


图 3-20　小幅摆动焊接手法

3. 坡口间隙 >2mm 的情况

摆动方式应在横向摆动的基础上增加前后摆动（图 3-21），这样可避免电弧直接对准间隙，防止烧穿。

4. 厚板坡口内焊接

在坡口角度和间隙较小时，熔化金属容易流到电弧前面去，而引起未焊透。所以在焊接

根部焊道时应采用右焊法（图 3-22），焊枪直线式移动。

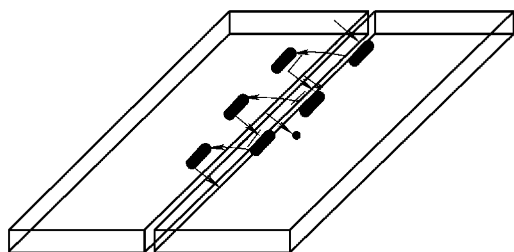


图 3-21　横向摆动加前后摆动手法

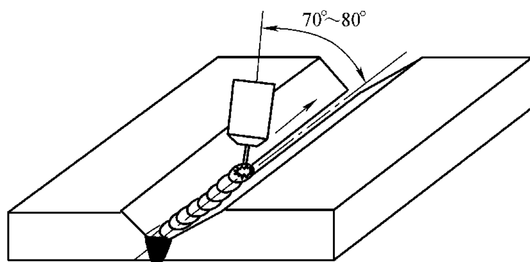


图 3-22　小坡口角度和间隙厚板的右焊法

5. 坡口角度和间隙较大时

应采用左焊法和小幅摆动来焊接根部焊道（图 3-23）。一旦发现熔池下沉，说明有过熔倾向，此时应加大摆幅，防止焊缝塌陷。

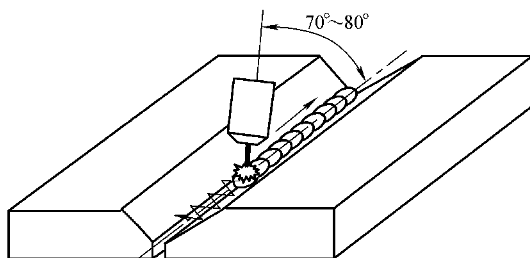


图 3-23　大坡口角度和间隙厚板的左焊法

6. 气体保护焊多层焊道

为避免未焊透和夹渣，多层焊接要特别注意坡口两侧的熔合情况（图 3-24）。采用沿坡口进行月牙摆动焊接时应在两侧少许停留，中间移动较快，使焊道表面趋于平坦。采用直线焊时要注意焊道的摆列次序和宽度，防止出现中间凸起和在两侧与坡口表面之间出现尖角。

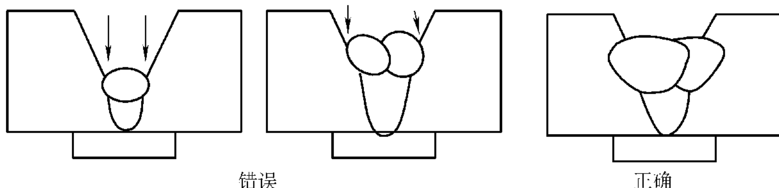


图 3-24　多层焊的中间焊道与坡口间不宜形成“狭谷”

7. 水平角焊

应根据焊接板厚和焊脚大小适当调整焊枪角度、指向位置、电弧电压和焊接电流，采用单道或多道焊方式焊接（图 3-25）。其中焊接电流尤为重要；若焊接电流过大，金属液容易流淌，使得垂直角的焊脚小且出现咬边，水平板上焊脚较大并出现焊瘤，影响焊缝质量。

8. 向下立焊

向下立焊时，熔池处在焊缝下方垂直位置，为了保持熔池不流淌，一般采用细丝短路过渡，使用较小的焊接电流和较快的焊接速度（图 3-26）。同时焊枪应指向熔池，一般不横向摆动。电弧始终对准熔池，利用电弧力把熔池金属推上去。如果熔池控制不好，使金属液下淌，容易产生咬边、未焊透和焊瘤，使焊缝成形不均匀和焊道表面凸凹不平。

9. 向上立焊

向上立焊熔深大，操作容易，特别适合于大厚度焊件的焊接。但由于向上立焊时熔池金属液下淌，容易产生焊道凸起、成形不良和焊缝咬边缺陷。为使焊缝平整，焊接时不宜使用较大参数，也不宜进行直线式焊接。摆动焊接时应根据所焊板厚适当调整摆动方式，一般是

在均匀摆动情况下快速向上移动（图3-27）。在要求较大焊脚时，应在焊道中心部分快速移动而在两侧少许停留。避免摆线向下弯曲，引起金属液流淌和产生咬边。

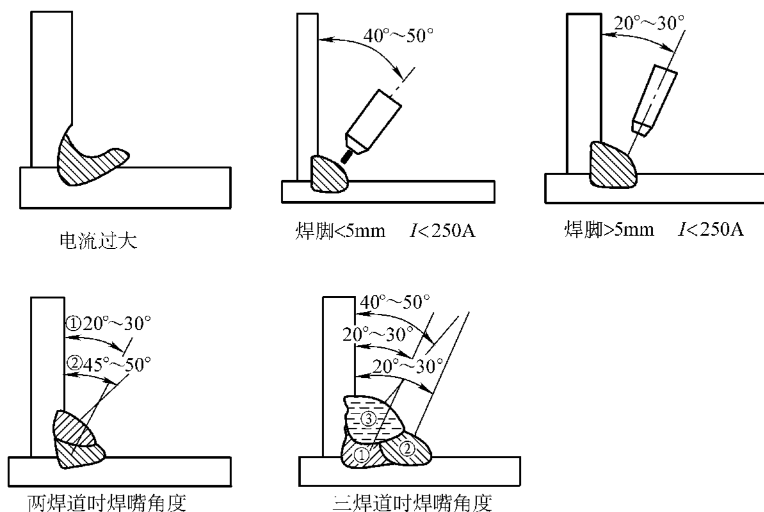


图3-25　水平角焊手法

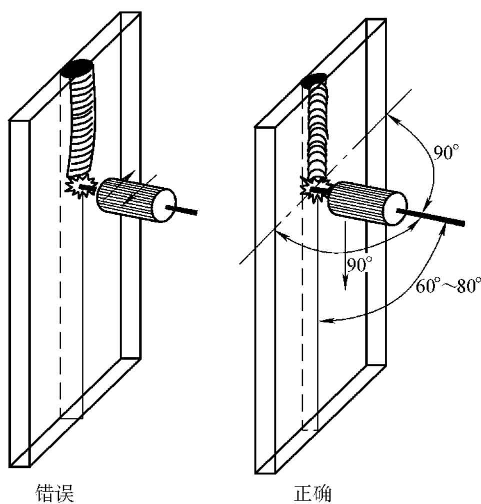


图3-26　向下立焊时焊枪不横向摆动

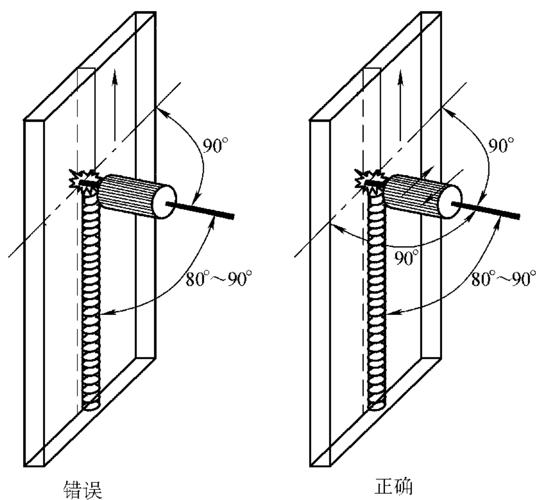


图3-27　向上立焊时焊枪位置与摆动

10. 横焊

横焊时熔池金属受重力作用下淌，在焊道上方易产生咬肉，焊道下方易形成焊瘤。为此应限制每道焊缝的熔敷金属量，采取低电压、小电流的短路过渡。当焊缝宽度较大时，应采取多层焊。多层焊时应适时调整焊枪角度，适当排布焊道（图3-28）。应由里而外、由下而上，并逐层焊平。从而保持角焊焊缝的焊脚一致和表面

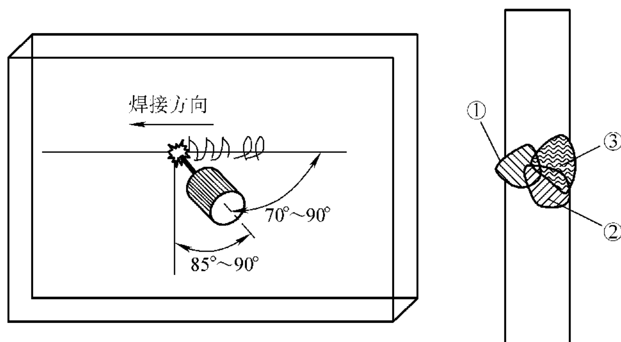


图3-28　横焊时焊枪角度与焊道顺序

平滑。

11. 仰焊

仰焊时熔池金属液受重力作用下垂，容易形成凸形焊道并产生未焊透、咬边等缺陷。施焊时应使用细焊丝，以短路过渡方式焊接，焊枪对准坡口心，摆动幅度不宜过大，靠电弧力和表面张力作用保持熔池（3-29）。厚板焊接最好采用多道焊。

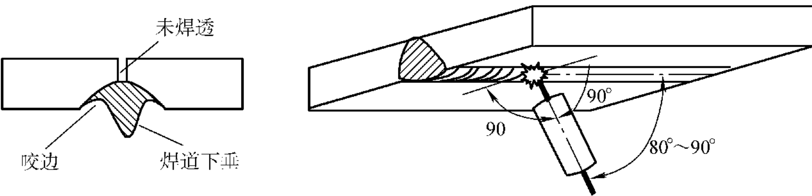


图 3-29　仰焊易发缺陷与焊枪角度

要点 70　活泼金属焊接不宜使用活性气体

活泼金属（Al、Mg、Ti 合金钢等）的焊接，熔池对氧化性气体特别敏感，故只能采用纯惰性气体保护焊。常用惰性气体为 Ar 和 He。氩弧焊接电弧燃烧稳定，飞溅极少，较适合焊接薄板和导热率低的金属。氦弧焊接具有较高的电弧温度和能量密度，适用于中厚板和热导率高的金属。Ar、He 混合气体可获得兼有两者优点的保护效果，使用性能优于纯 Ar 或纯 He。对于铜及其合金，N_2 相当于惰性气体。焊接用保护气体性质及适用范围见表 3-1。

表 3-1　焊接用保护气体性质及适用范围

<table>
<tr><td rowspan="2">焊接材料</td><td>惰性</td><td>Ar + N_2</td><td colspan="2">氧化性</td><td>还原性</td></tr>
<tr><td>Ar　Ar + He</td><td>N_2</td><td>Ar + O_2 (CO_2)</td><td>CO_2 (+ O_2)</td><td>Ar + H_2</td></tr>
<tr><td>铝及铝合金</td><td rowspan="4">√</td><td rowspan="2">×</td><td rowspan="3">×</td><td rowspan="4">×</td><td rowspan="5">×</td></tr>
<tr><td>钛、锆及其合金</td></tr>
<tr><td>铜及铜合金</td><td>√</td></tr>
<tr><td>不锈钢及高强度钢</td><td rowspan="2">×</td><td rowspan="2">√</td></tr>
<tr><td>碳钢及低合金钢</td><td>一般不用</td><td>√</td></tr>
<tr><td>镍基合金</td><td>√</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>√</td></tr>
</table>

要点 71　MAG 焊氧化性气体含量不宜超过一定比例

为稳定阴极斑点、增大电弧热功率，提高熔滴过渡稳定性，改善焊缝熔深形状及成形，通常在惰性气体中加入一定量的氧化性气体（MAG 焊）。但混合性气体一般为富 Ar 气体，以使电弧性质仍呈氩弧特性。如果氧化性气体加入过量，必将破坏电弧形态和熔池行为，对焊缝质量产生不良后果。

要点 72　旋转管自动气体保护焊焊枪不宜在正上方

当水平管以均匀速度旋转时，焊枪的位置应在逆旋转方向偏离竖直轴线一定位置上，并可通过焊枪入射点到竖直线的距离 L 调节焊道形状（3-30）。

焊接薄壁管时，焊枪水平指向管壁，呈向下立焊趋势，这样可获得熔深浅、焊道成形良好的焊缝，而且能以较高速度焊接。

要点 73　掌握陶瓷衬垫 CO_2 单面焊双面成形工艺特点

在一些大型钢结构，例如船体结构，一般多采用带陶瓷衬垫的 CO_2 单面焊双面成形

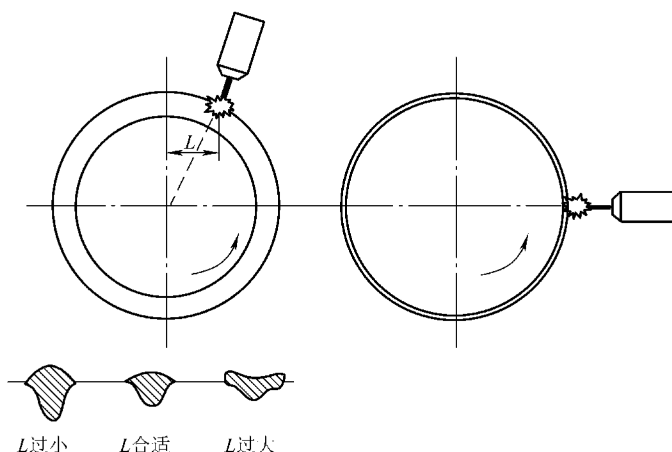


图3-30 旋转焊管焊枪位置

技术。

其主要技术优势：

1）这种工艺方法可以降低对焊接接头的装配要求。

2）适用范围大。不论是薄板还是厚板，也不管是何种焊位（平、立、横焊位），还是对接或角接都可以使用，因此特别适用于焊接船体结构。

3）焊接材料选择范围大。使用的焊丝可以是实心焊丝，也可以是药芯焊丝；常用焊丝的规格为1.2mm、1.4mm、1.6mm。前两种规格的焊丝可用于平、立、横各种位置焊接；后一种适用于平焊。

药芯焊丝由于电弧柔和、飞溅少、表面成形光滑、综合成本低，因此正在逐渐替代实心焊丝。全位置型和金属药芯焊丝都可在该工艺中使用；理想的搭配是在平角焊选用熔敷率高的金属药芯焊丝；在立焊位置选用成形好的全位置型药芯焊丝。

4）使用带陶瓷衬垫的 CO_2 单面焊双面成形技术后，可以有条件逐步淘汰船体焊接中的仰面焊。

5）陶瓷衬垫的形式多样化，便于各种坡口类型和焊接位置的焊接，如图3-31所示；但

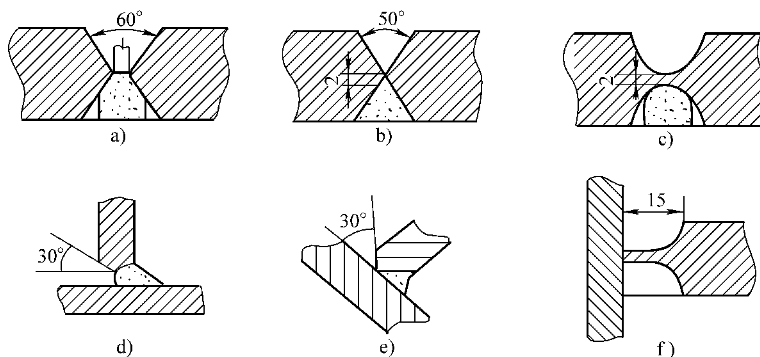


图3-31 陶瓷衬垫的形式与适用的坡口类型

不同形式的陶瓷衬垫与不同坡口类型配合后，究竟能有何种背面焊缝的形式，其影响因素较多，为此，船厂应通过焊接试验来确定陶瓷衬垫的形式和焊接参数。

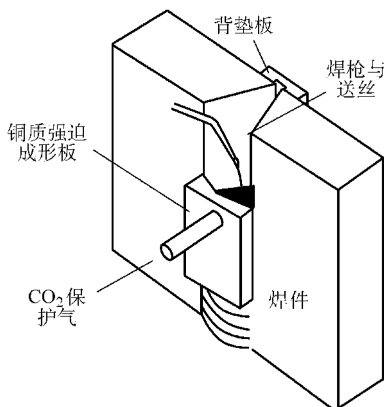


图 3-32　气电立焊工艺原理

要点 74　掌握气电立焊特点和工艺要点

气电立焊（EGW）技术是一种配备专用的药芯焊丝，以 CO_2 气体保护进行向上立焊的自动化焊接工艺，用于焊接垂直或接近垂直位置的焊接接头，如图 3-32 所示。

1. 气电立焊的特点

气电立焊工艺过程稳定、操作简便　焊接时，电弧轴线方向与焊缝熔深方向垂直，在焊缝的正面采用水冷铜滑块，焊缝的背面采用水冷档排（或衬垫）（图 3-33、图 3-34）使用药芯焊丝送入焊件和档块形成的凹槽中，熔池四面受到约束，实现单面焊双面一次成形的一种高效焊接技术，其生产效率比焊条电弧焊要高 10 倍以上。

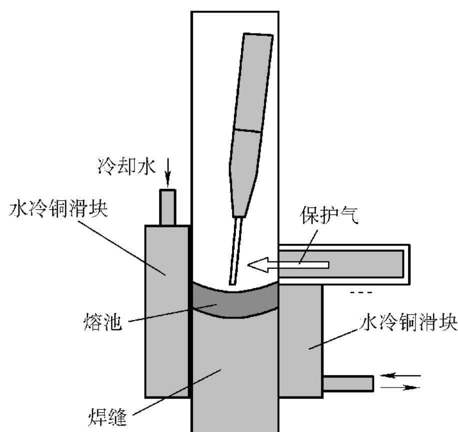


图 3-33　背面水冷铜滑块气电立焊

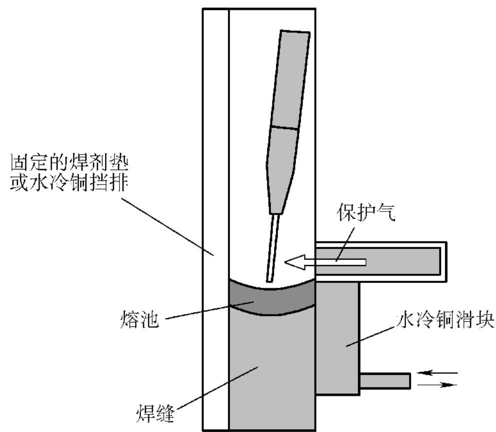


图 3-34　背面固定衬垫气电立焊

这种方法在大型结构中的应用不断发展，现在已具备单丝、双丝（图 3-35）两种送丝方式；双丝焊时，第一根焊丝需要沿焊缝的熔深方向进行摆动。图 3-36 给出了如何根据板厚范围来确定送丝数。

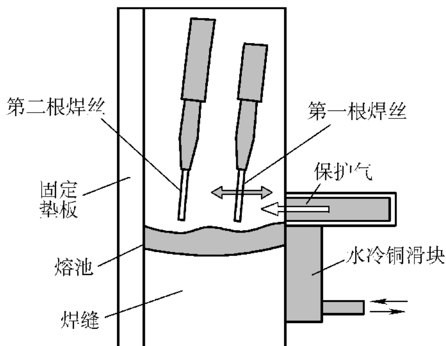


图 3-35　双丝气电立焊原理图

2. 气电立焊焊接参数控制

气电立焊的焊接位置垂直或接近于垂直方向，电弧轴线方向与母材熔深方向成直角，熔化的焊丝金属堆积叠加，熔池不断水平上移形成焊缝，其熔深产生所需热量的传递方式与其他电弧焊有所不同。气电立焊的焊接电弧产生的热量主要流向三个方向：熔化焊丝、熔化母材、滑块吸收。

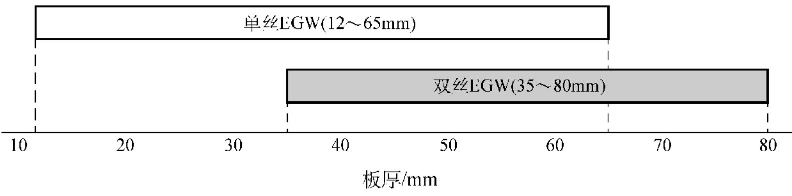


图3-36 焊丝数的选择

1）母材坡口截面积控制是影响熔深的主要参数之一。熔深反映了坡口两侧母材的熔化量，直接决定了焊接质量。增加坡口截面积就增加了焊接热输入，导致熔深增加。熔深的大小由熔池过热金属的过热度即温度梯度决定；影响熔池熔融金属的过热度的因素也就是影响熔深的大小的因素。

2）热输入控制。对于一般电弧焊焊接热输入为 $E=IU/V_w$；对于气电立焊，焊接时采用等速送丝、大电流密度、较高的电弧电压，其送丝速度等于熔化速度，熔化速度正比于向坡口填充金属的速度，经推导可得焊接热输入为 $E=k_iUS$，式中 k_i 为焊丝熔化系数、S 为坡口截面积。增加电弧电压可增加焊接热输入。

3）冷却速度控制。当焊接参数和坡口参数确定后，焊丝和母材吸热可以认为是不变的，而强制成形的铜滑块吸热，则随冷却介质水变化较大。水的温度、水的流量对吸热影响很大，低的水温和高的流速水带走的热量，远大于高水温低流速的情况，所以在焊接厚板时应减少水流量；焊接薄板时可增加水的流量；通过调节水流量来调节熔池的冷却速度可有效的控制熔深的大小。

由于气电立焊熔池与普通未受约束的焊接熔池状态不同，熔深的形成方式以及影响熔深的因素也就不同。

表3-2给出了两种厚板EGW焊接参数，供参考。

表3-2 典型EGW焊接参数

板厚/mm	焊根间隙/mm	焊丝数	丝速/(m/min)	电流/A	电压/V	焊速/(cm/min)	热输入/(kJ/cm)
35	8	1	13	360	38	9.6	171
		2	13	370	37		
80	8	1	15	400	44	3.8	551
		2	15	410	41		
	10	1	15	420	45	3.4	630
		2	15	410	41		

无论采用单丝还是双丝，气电立焊焊缝质量都是优良的（图3-37）。

3. 介绍几种实用气电立焊焊接材料

1）目前国内用量较大的是神户制钢公司生产的DWS－43G和DWS－60G型药芯焊丝，这两种焊丝经使用证明，焊接时电弧稳定、飞溅很小、气渣保护良好、焊缝质量均匀稳定，是质量优良的药芯焊丝。

2）自保护自动立焊焊丝一般采用林肯（Lincoln）公司NR431药芯焊丝。自动立焊工艺大都在露天或高空场合施工，在有大风的情况下，自保护焊可以不因风的影响而停止施工。另外，目前自保护立焊设备的价格也要比气体保护立焊设备的价格低得多。

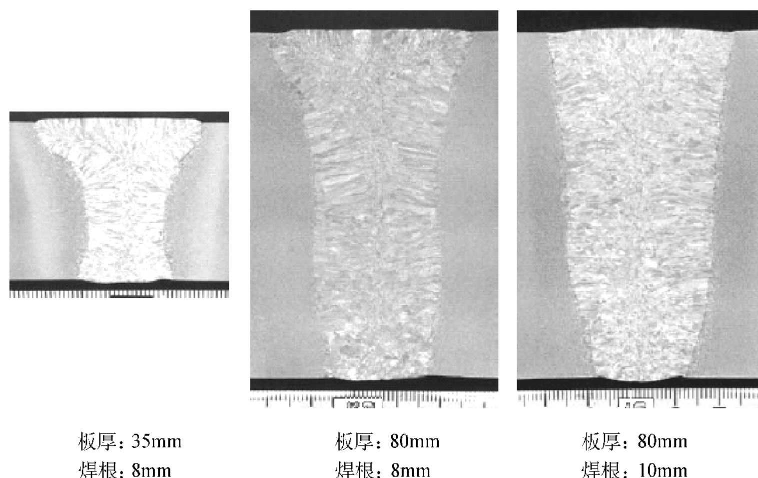


图 3-37　气电立焊焊缝宏观组织

要点 75　掌握药芯焊丝气体保护焊的特点

药芯焊丝是近几十年发展起来的新型焊接材料，它兼备了焊条电弧焊的优良工艺性能和 CO_2 实心焊丝气体保护效率高、可自动焊的优点。

1）在电弧高温作用下，药芯中的造气剂、造渣剂对熔滴和熔池起到气渣联合保护作用（图 3-38），这就明显改善了焊接工艺性能：容易形成熔滴呈喷射过渡，飞溅小（或无飞溅）、焊缝成形美观。

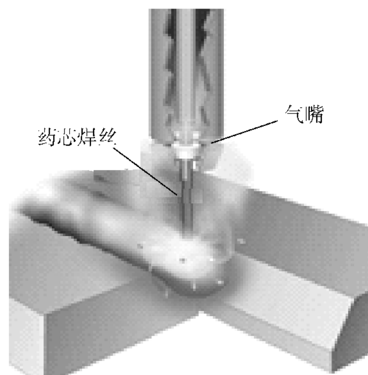


图 3-38　药芯焊丝气体保护焊工艺示意图

2）熔敷速度高于 CO_2 实心焊丝，是焊条电弧焊的 4 倍左右，这样可形成高效率的双丝（药芯焊丝）气体保护焊全位置焊机，如图 3-39 所示。图 3-39 中两气体保护焊枪可分别设计为不同大小的焊嘴，小焊嘴用于第一层焊道施焊，大焊嘴紧跟其后，用于盖面焊道施焊，这对一般板厚的焊件焊接可“一气呵成”，大大提高了效率。又由于双焊枪有分别控制焊接参数的优点，再配合先进的激光跟踪、数字控制电源技术可应用于高效率全位置焊接。

3）焊接电流通过很薄的金属外皮，其电流密度大，增加了电阻热，提高了热源利用率，综合节能 20%~30%（与焊条电弧焊相比）。单位长度焊缝其综合成本明显低于焊条电弧焊，而且略低于实心焊丝。

4）特殊研制的药芯液态造渣剂，可渗透到打底焊缝的背面，从而改善焊缝背面成形，这就特别适用于船舶工业中的船体垂直焊缝的向上立焊、横位焊缝与仰面位置焊缝的自动焊，这就是药芯焊丝 CO_2 气体保护焊工艺在船舶工业中大力推广应用的主要原因。

5）药芯焊丝气体保护焊突出优点是：向焊缝过渡各种必要合金元素，具有灵活、可调的特点，从而使药芯焊丝广泛适用于低碳钢、低合金高强钢、低温钢、耐热钢、不锈钢及耐磨硬面堆焊等各种类型的钢结构焊接。



图3-39 双丝（药芯焊丝）气体保护焊全位置焊管

3.2 气体保护焊设备选择与使用要点

要点76 了解数字式弧焊电源在气体保护焊中的广泛应用和优势

数字式弧焊电源是指电源的主要控制电路由数字控制技术替代了传统的模拟控制技术，且控制电路中的控制信号也由模拟信号过渡到数字信号；数字电源与模拟电源相比有着明显的优势，主要体现在数字电源具有系统灵活性好、控制精度高、稳定性与产品一致性好、接口兼容性好以及系统功能升级方便等特点；在已知的电弧焊工艺中，采用数字式弧焊电源气体保护焊占据第一位（图3-40）。

1. 数字控制弧焊电源的优点

（1）数字控制弧焊电源具有很好的系统灵活性　数字控制弧焊电源灵活性是指系统功能控制“由硬变软”后，再改变系统的配置和控制参数（如滤波电路与性能、放大电路与增益、波形变换电路与组合等）将变得十分灵活；对于模拟系统来说，达到同样目的，就必须改变电路硬件，这一般来说是很困难的。而对数字系统来说，改变系统的配置和参数可通过改变软件来实现。对数字控制弧焊电源来说，其灵活性则意味着同一套硬件电路可以实现不同的焊接工艺控制。

（2）数字控制弧焊电源控制方式灵活性　数字控制弧焊电源控制方式灵活性是指对于不同焊接工艺方法和不同焊丝材料、直径等可以选用不同的控制方式（控制模式）和控制参数，从而使焊机在实现多功能集成的同时，每一种焊接工艺方法的效果也得到大幅度的提高。

例如奥地利Fronius公司结合逆变技术和数字信号处理器技术，推出的全数字化TPS系列（TPS2700/TPS4000/TPS5000）焊机。该系列焊机是数字化控制的弧焊逆变器，其控制系统采用DSP芯片监控焊接过程，实现程序化（通过控制面板上的焊接程序按键，见图3-41）引弧和收弧、智能化调节参数，大大简化了焊接工艺操作。

通过事先选用各配套焊枪（图3-40中所示的MIG/MAG焊枪、CO_2焊枪、TIG焊枪）就

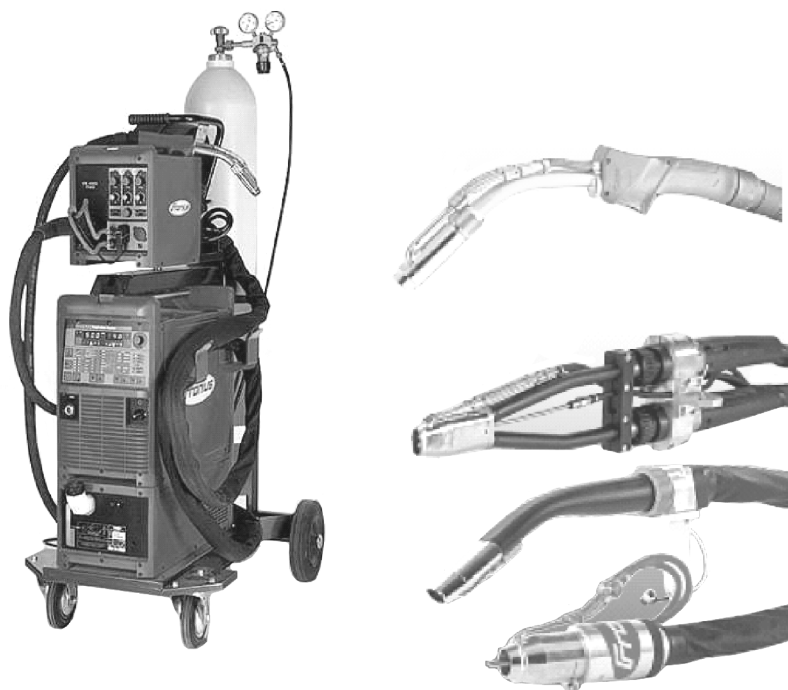


图 3-40　Fronius 公司的 Transplus 系列气体保护焊弧焊电源

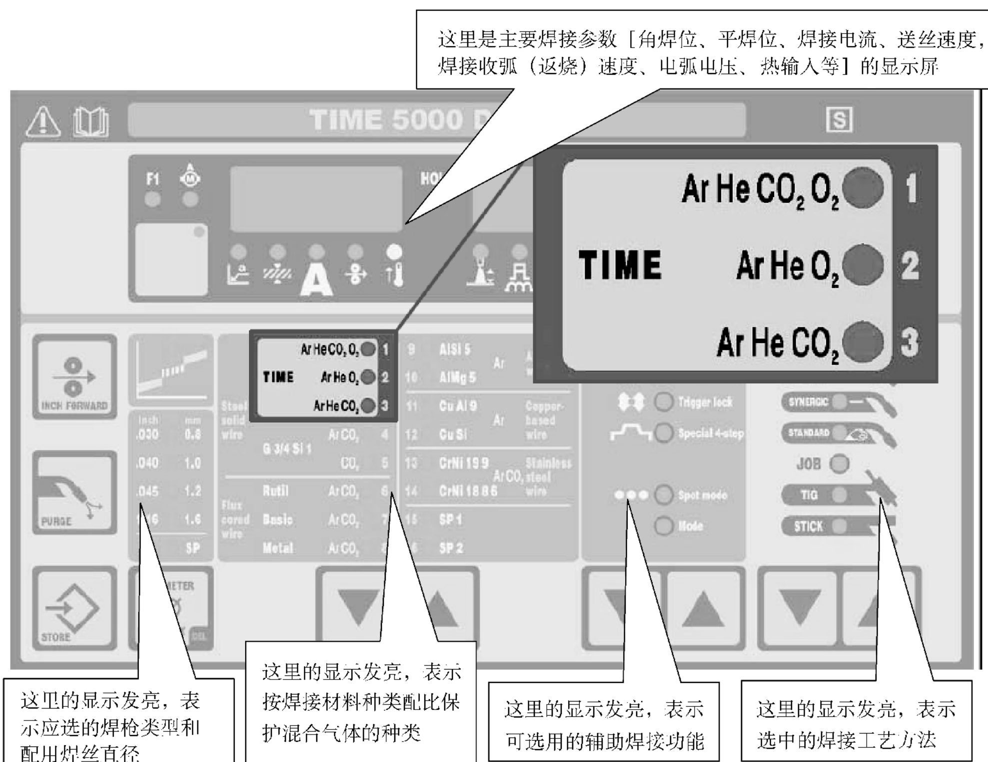


图 3-41　TPS5000 型数字式气体保护焊电源的控制屏

可使焊机具有MIG/MAG、TIG、CO_2、焊条电弧焊等多种焊接工艺功能（也通过控制面板上的操作模式按键加以选择）。

（3）可实现熔滴过渡和精细波形控制　使用数字化焊接电源进行MIG/MAG、CO_2等熔化极气体保护焊时，可实现熔滴过渡的精确控制。多年来CO_2气体保护焊工艺方法大量用于产品的焊接生产过程，但焊接过程飞溅较大一直是人们急于解决的问题，特别是对于焊接表面质量要求非常苛刻的汽车车身的CO_2气体保护焊工艺制造就显得更为重要。

由于数字化焊接电源实现了焊接电压、电流波形在线快速检测和快速计算短路过渡特征参数，因此使焊接工艺中的先进控制思想，得以在数字控制电源中实现。

解决熔化极弧焊电源的抗飞溅能力与焊缝成形的本质问题，是熔化极电弧焊的熔滴过渡问题。但时至今日，国内外还没有研制成理想的“零飞溅”熔化极弧焊电源，但已经开发出“少飞溅”的CO_2弧焊电源，并同时在一台电源中，获得了良好的焊缝成形。具有代表性的是林肯焊接设备公司（美）近年发布的所谓熔滴的表面张力过渡（Surface Tension Transfer，简称STT）控制，如图3-42所示；图3-43给出了该CO_2弧焊电源的外形与控制面板。

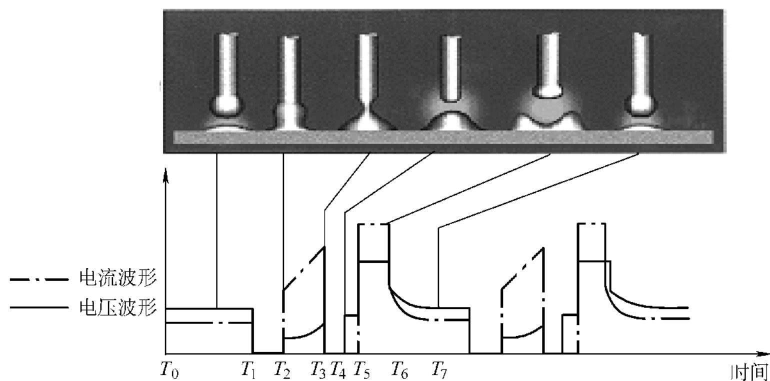


图3-42　熔滴STT控制技术的电源电压、电流波形

具有少、无飞溅的国外优秀CO_2弧焊电源，还有米勒（美Miller）公司采用所谓熔滴小球过渡法（RMD Ball transfer）（图3-44）的数字式电源（图3-45）。

图3-46是唐山－松下（PANASONIC）产YD－350GR3数字电源，该电源的主要特点是：

对短路过渡电流波形的上升时间、燃弧时间及下降时间以及各时段的电流峰值进行精确控制，即通过单片机给出多种斜率、不同幅值的CO_2短路电流波形，使得CO_2焊接的工艺效果在不同的电流范围内都能接近于最佳控制，以达到进一步减小焊接飞溅目的。

该电源对短路过渡电流波形进行控制的同时，可得到所谓“一脉一滴”的熔滴过渡效果，这就为进一步改善焊接质量（焊缝成形）创立了良好的设备条件。

该焊机也是数字化控制的弧焊逆变器，其控制系统采用单片机和DSP芯片监控焊接过程，实现程序化控制；通过控制面板（图3-47）上的焊接程序按键，控制引弧和收弧、智能化参数调节，大大简化了焊接工艺操作。

该焊机也具有MIG/MAG、TIG、CO_2、焊条电弧焊等多种焊接工艺功能（也通过控制面板上的操作模式按键加以选择）。

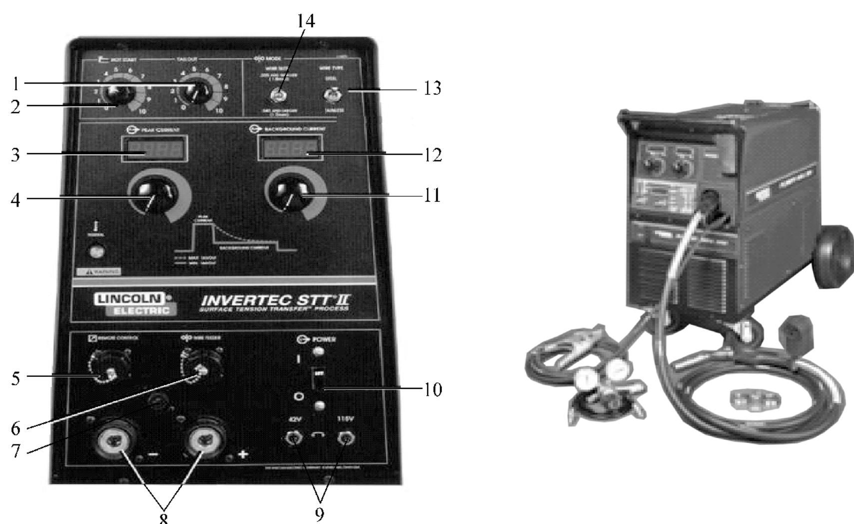


图 3-43　林肯（美 LINCOLN）STT 功能的 CO_2 弧焊电源

1—收弧控制　2—热起弧控制　3—峰值电流（液晶）显示　4—峰值电流控制旋钮　5—10 针峰值与基值电流遥控插座　6—带 42V/115V 辅助电源送丝机构的 14 针插座　7—检测用线（7.6m）连接接口　8—一对为带专用插头（产品编号 M15479）的输出插口　9—42V/115V 电源开关　10—总电源开关　11—基值电流控制旋钮　12—基值电流（液晶）显示　13—焊丝模式（种类选择）开关　14—焊丝直径（选择）开关

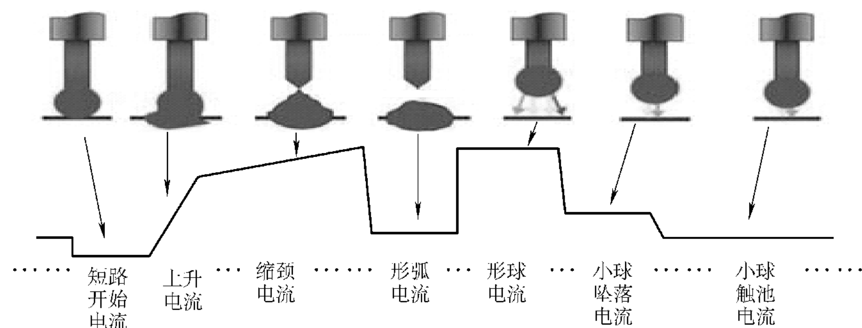


图 3-44　熔滴小球过渡法技术



图 3-45　MILLER 数字式少、无飞溅 CO_2 焊机



图 3-46　唐山－松下产 YD－350GR3 数字电源

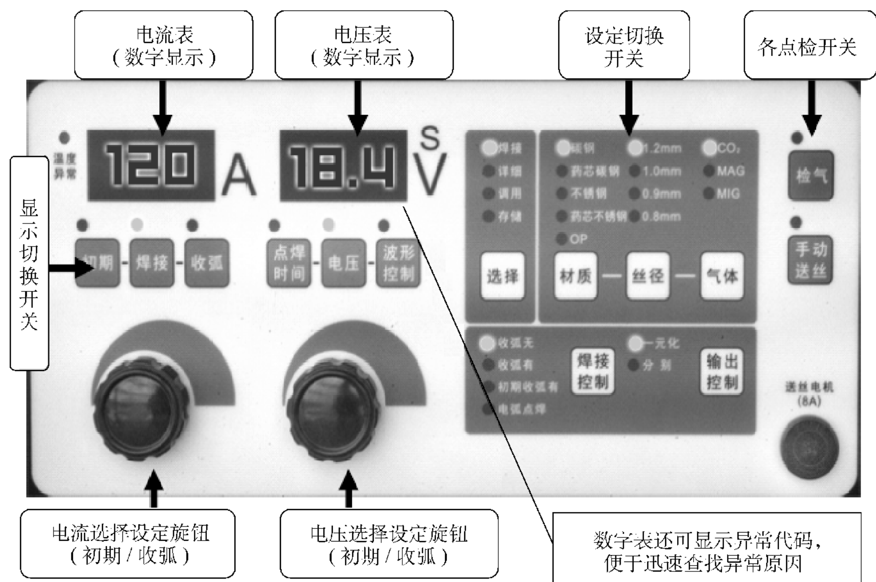


图 3-47　YD－350GR3 数字电源的控制面板

2. 数字电源使全位置焊管技术有所突破

由于采用了数字电源后，在电弧焊管工艺中关键技术（TIG 填丝焊法、MAG 焊法时，下行焊位和仰焊位的熔滴过渡与焊缝成形技术）的突破，才使高质量的自动电弧焊管得以实现。这也正是近年来在电弧焊管机中，全部采用数字电源的主要原因。

图 3-48 所示是采用数字电源（A21PRO，图 3-49）的全位置自动电弧焊管机；图 3-50 所示是采用脉冲控制电源进行管道的半自动气体保护焊。

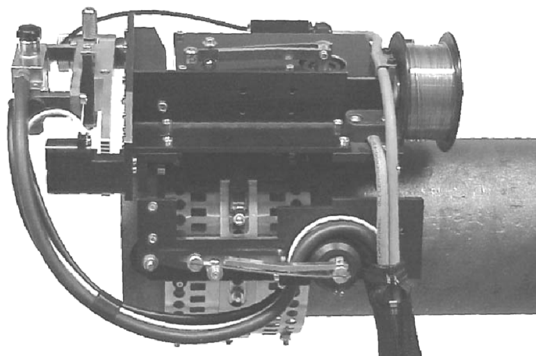


图 3-48　爬车式焊管机（ESAB）

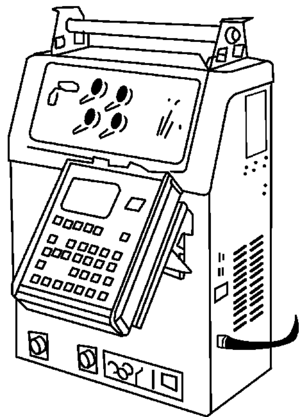


图 3-49　A21PRO 型焊管机配套数字电源（ESAB）

图 3-51 所示为 POLYSOUDE 公司研制开发的气体保护焊（采用 TIG 填丝焊工艺）全位置焊管机与配用的数字式电源的控制面板。全位置焊管的各种焊接位置可实现电流脉冲程序控制，由于采用机械式固定的焊接小车轨道，因此可对不锈钢材料的管道进行全位置焊，图 3-51 中显示的就是正在焊接核电站的不锈钢材料管道。

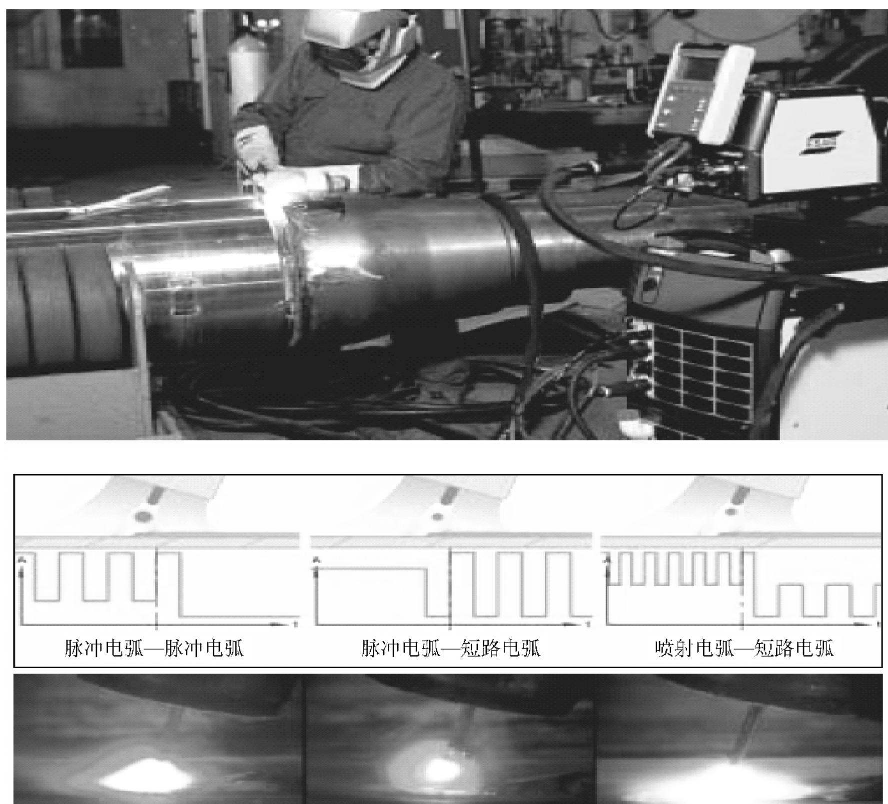


图 3-50 采用脉冲控制电源的气体保护焊管设备（ESAB）

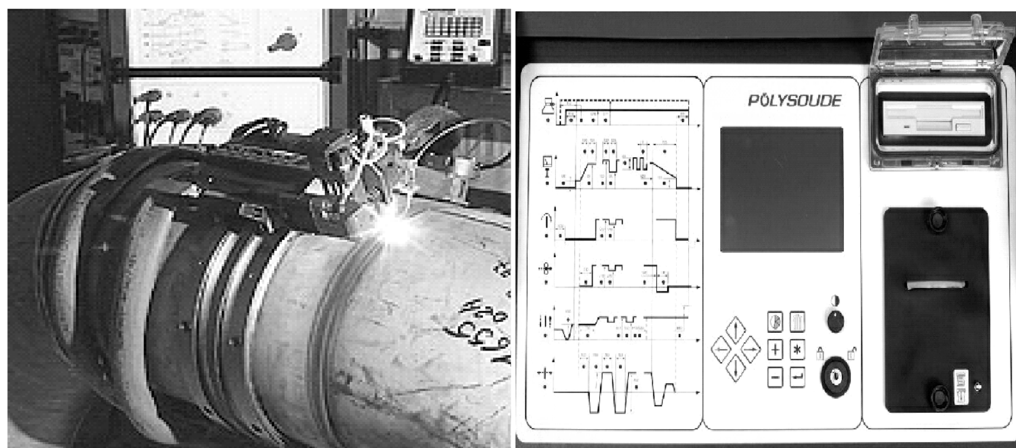


图 3-51 TIG 填丝焊工艺全位置焊管（POLYSOUDE）

从数字式电源的控制面板上可看出，对焊接电流的脉冲程序控制，焊机给出了图解形式的提示：可直流控制、有起步电流上升(“UP”)、收弧下降(“DOWN”) 功能的直流焊接电流脉冲控制和交流焊接电流脉冲控制等。

图 3-52 所示为 MAGNATECH 公司研制开发的气电焊全位置焊管机与配用的数字式电源（PM－400/GM400)，该类型的焊管机使用药芯焊丝。

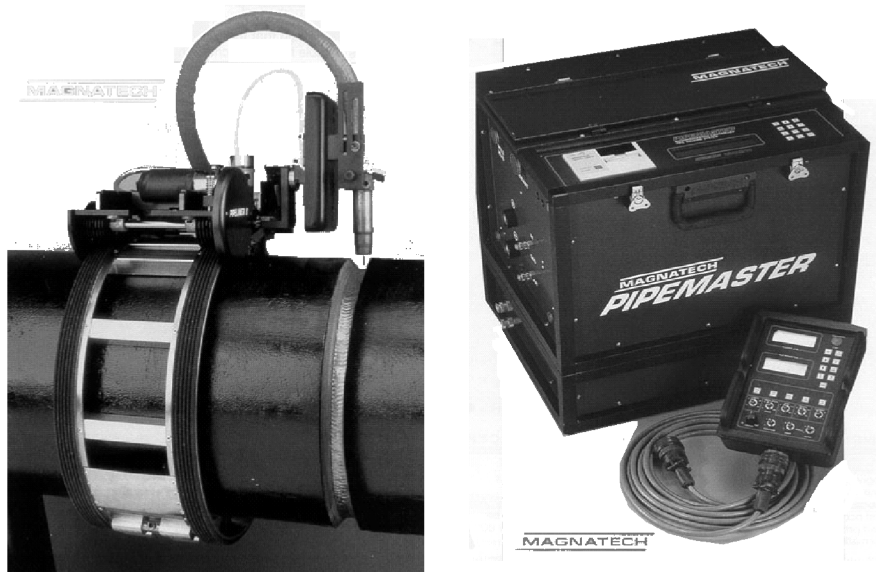


图 3-52　药芯焊丝全位置焊管机与配用电源（MAGNATECH）

3. 数字电源容易实现网络化

由于数字式弧焊电源的电路结构中，一般都设有与上位（计算）机的接口电路（图 3-53），使多台数字式弧焊电源彼此之间可以形成局部网络（图 3-54），从而方便彼此之间的焊接信息交换和管理。

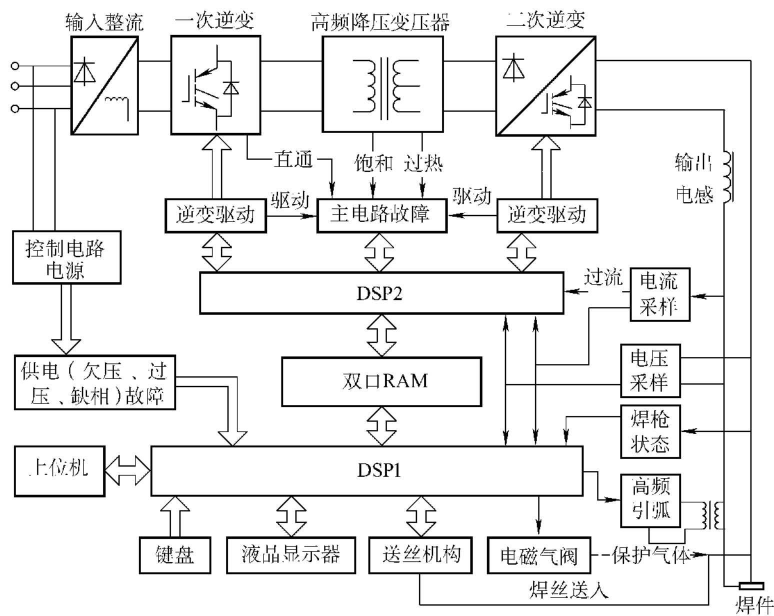


图 3-53　数字焊机的一般结构框图

数字式弧焊电源可方便地与焊接机器人接口（图 3-55），这样一来，就大大方便了使用焊接机器人组成各种焊接自动化系统，节省设计时间。

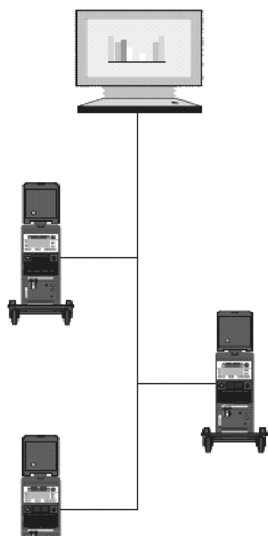


图 3-54　数字焊可方便地与上位控制计算机连接成局部网络

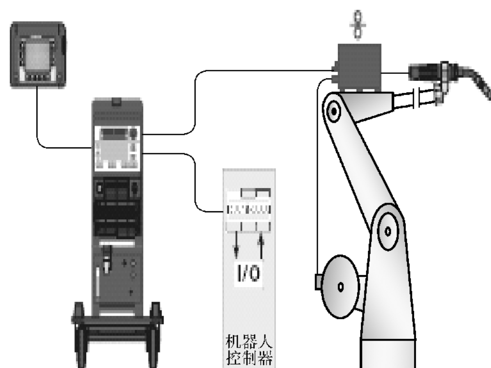


图 3-55　数字焊机可方便地与焊接机器人接口

要点 77　注意考查气体保护焊焊机的送丝机构

气体保护焊是属于熔化极气体保护焊的一种，焊接时要通过焊枪（图 3-56）向焊接区送进焊丝。要保证焊接过程的稳定性，气体保护焊除了采用性能良好的焊接电源外，还必须有可靠性优良的焊丝送进系统。

可靠性优良的送丝系统包括：设计使用性能良好的焊枪。涉及送丝系统的主要是：

1）导电嘴的通丝孔径尺寸是否合适，导电嘴的材料的选用是否耐磨性良好，导电嘴端部是否不易被飞溅堵塞。

2）焊枪送丝部分的散热设计是否完善，这点对自动气体保护焊显得特别重要，因为自动气体保护焊时，不可能经常更换焊枪的喷嘴与导电嘴。

3）送丝软管必须设计成既通丝顺畅又要有一定的柔软度，这点对焊接现场显得特别重要。

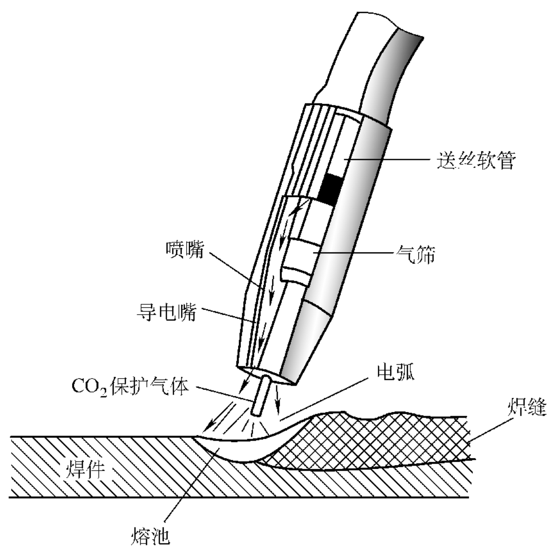


图 3-56　CO_2 气体保护焊焊枪结构图

4）气体保护焊焊机的送丝机构一般选用推丝方式的“单主驱动轮送丝机构”或“双主驱动轮送丝机构”（图 3-57），半自动 CO_2 弧焊机采用前者为多，自动 CO_2 弧焊机多采用后者。

从送丝机构的焊丝驱动平稳的角度看，双主驱动轮送丝机构的可靠性要高于单主驱动轮送丝机构，同时双主驱动轮送丝机构的送丝距离也较远。

要点78　注意考查气体保护焊焊机的电弧引弧成功率

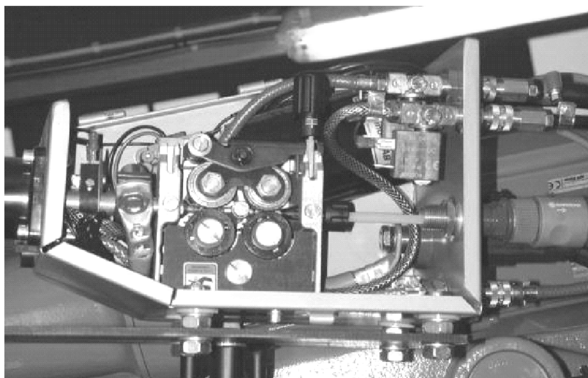


图3-57　一种双主驱动轮送丝机构

焊接电弧的引弧成功率就是电弧焊开始时，有效引发电弧次数的几率。无论对半自动 CO_2 电弧焊、还是使用熔化极电弧焊枪的自动 CO_2 焊，都要求焊接电弧有100%的引弧成功率。这是因为在实际焊接生产线上工作时，如果哪次引弧不成功，一般就会出现如图3-58所示的情况。即进入焊接程序后，焊丝向下送进，但电弧并没有"引燃"，因此焊丝会送出一段（虽然一般焊接控制系统都设计有电弧状态检测环节）。这送出一段的焊丝，必须处理掉，才能重新开始引弧程序。

显然，引弧成功低会带来很多麻烦，特别是对自动 CO_2 气体保护焊。

为解决 CO_2 电弧焊引弧成功率，现代的 CO_2 弧焊电源中，有采用所谓"去（焊丝端部）小球"（BIT）电路的设计。该设计思路的出发点是：当一次 CO_2 弧焊结束时，发现焊丝端部的形状可能出现图3-59所示的两种状态。

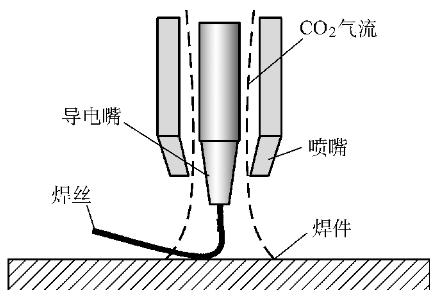


图3-58　CO_2 弧焊一次失败的引弧

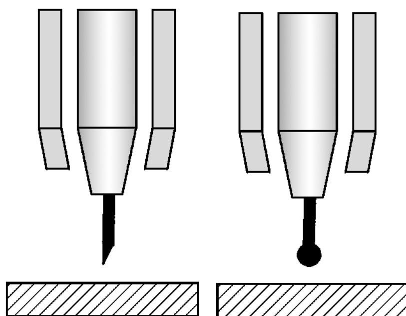


图3-59　一次 CO_2 弧焊结束时，焊丝端部形态

当再次焊接时，有尖的焊丝端部很容易引弧；而焊丝端部一出现（熔滴凝固而形成）小球，再次引弧就困难。上述现象的产生，使人想起"尖端放电"的物理原理。

要点79　混合气体保护焊不宜使用单层气流喷嘴

为了提高保护效果、节省高价气体，熔化极气体保护焊可以采用双层气流喷嘴（图3-60）。

此时两层保护气可用同种气体，但流量不同；或者采用内层通Ar以保护电弧区，外层通辅助气体以保护熔池。这样既可得到性能良好的焊接接头，又可大幅度降低成本。在大电流焊接时，可以收到更为显著的效果。

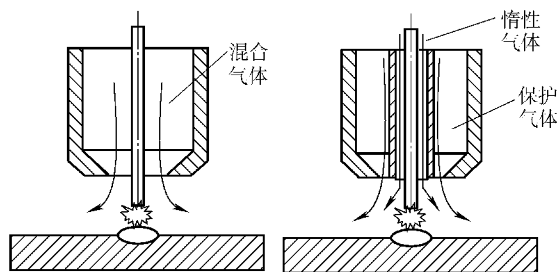


图3-60　单层与双层气嘴

要点80　亚射流过渡不宜采用恒压电源

亚射流过渡的弧长范围不宽，对于一定的焊接电流，最佳送丝速度范围相当窄，经常出现焊丝回烧或焊丝粘着焊件现象。因此采用普

通等速送丝焊机很难用亚射流电弧来进行焊接。采用一元化调节恒流外特性电源及等速送丝系统，焊接过程中弧长在一定范围变化时，焊接电流始终不变，容易得到熔深和外形都非常均匀的焊缝，如图 3-61 所示。

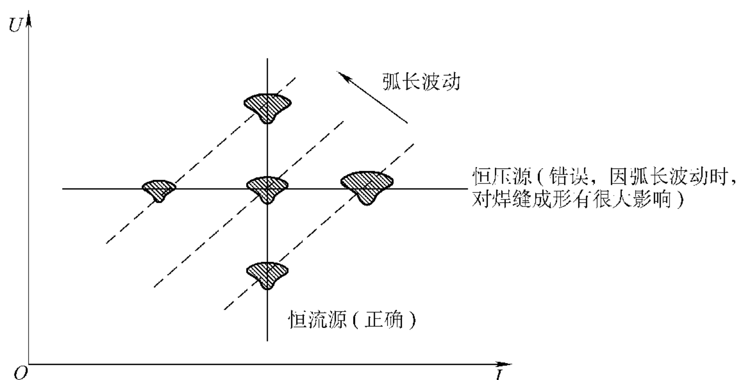


图 3-61　电源外特性对亚射流过渡焊缝成形的影响

要点 81　CO_2 电弧焊短路过渡焊接不宜使用无电抗电源

短路过渡 CO_2 电弧焊，在焊接回路内应串有可调的直流电抗器（0. 01 ~0. 8mH）（图 3-62)，用以限制短路电流上升速度，使熔滴能够柔顺地与熔池汇合，并使颈缩发生在焊丝与熔滴之间，从而降低飞溅，改善焊缝成形。

现代先进的 CO_2 电弧焊电源，控制熔滴短路过渡亦非采用简单的可调直流电抗器方法，而是利用单片机、数字信号处理器（DSP）等技术对熔滴短路过渡进行精确控制。

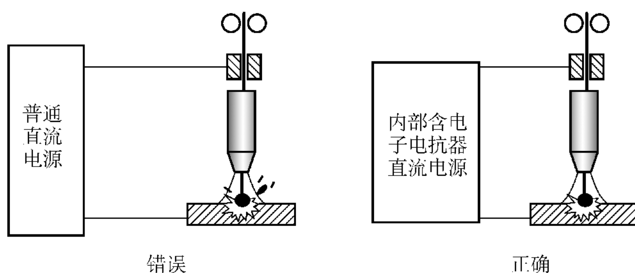


图 3-62　电抗器对短路过渡有益

要点 82　自动气体保护焊装备选用要点

采用气体保护焊（主要是指使用 CO_2 气体保护）工艺方法的自动气体保护焊装备主要包括：自动气体保护焊向上立焊焊机（图 3-63)、自动气体保护焊横向焊焊机（图 3-64）和自动气体保护焊角焊缝焊焊机（图 3-65)。这些自动气体保护焊焊机设备的主要特征是将通用型的气体保护焊焊机的焊枪装载到可沿轨道或爬升或横向移动的行走小车上，以便形成沿焊缝方向的焊接速度伺服动作。

近年来，在大型钢结构（诸如船舶结构、石油化工结构）的焊接中，国外采用自动气体保护焊焊机设备的场合越来越多，其主要原因是：自动气体保护焊焊机的焊接质量不依赖焊工的操作经验和水平，并且焊接质量稳定可靠，这点对焊接质量要求越来越高的大型钢结构是焊接方法与装备选择的先决条件。

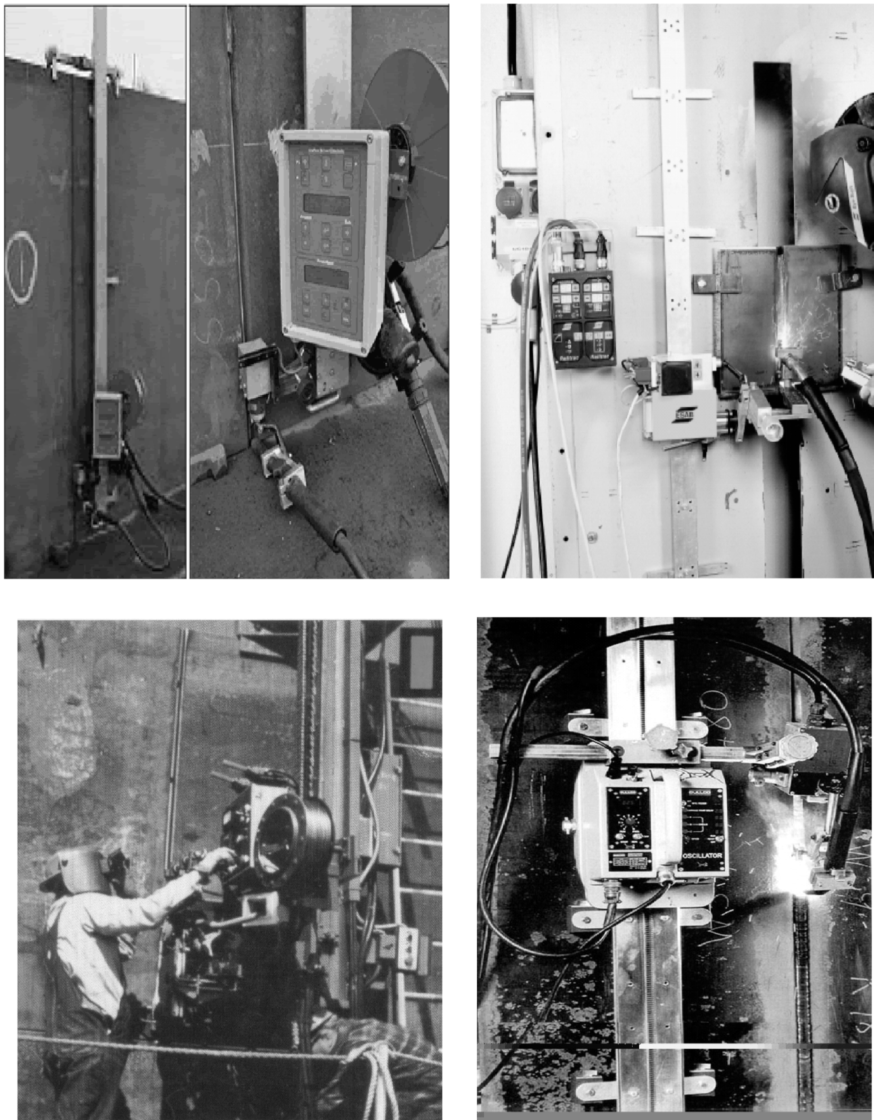


图 3-63　自动 CO_2 气体保护向上立焊焊机

1）选择气体保护焊装备时，最重要的是注意焊头结构（图 3-66）能否提供多种摆动轨迹的形式和稳定可靠的坡口跟踪。

因为对厚板的自动 CO_2 横向焊，焊缝是由多道焊完成的，而每道焊道焊接时，对焊枪的摆动轨迹的形式要求不同，如果焊机能提供较多的摆动轨迹形式，那么现场实际调节就很方便。

2）自动焊小车的行走轨道的安装与拆卸都要求方便灵活，同时，轨道的刚性要好。这是因有些简易型的自动 CO_2 横向焊系统中，并未包括焊缝自动跟踪系统，这时焊缝跟踪的精度就全靠轨道的精度保证。

3）自动焊接时熔池金属受重力作用下淌，在焊道上方易产生咬肉，焊道下方易形成焊瘤等缺陷。为此在焊接工艺上应限制每道焊缝的熔敷金属量，采取低电压、小电流的短路过

渡，此外就是选用药芯焊丝。国外以形成配合自动气体保护焊的药芯焊丝系列，这也是保证自动气体保护焊推广应用的重要条件之一。

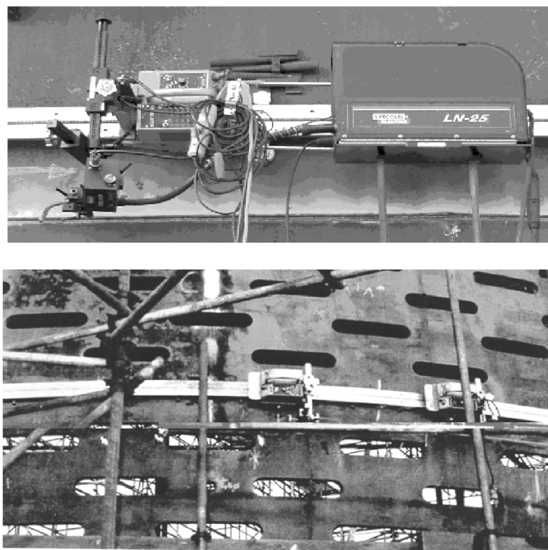


图 3-64　自动 CO_2 气体保护焊横焊机

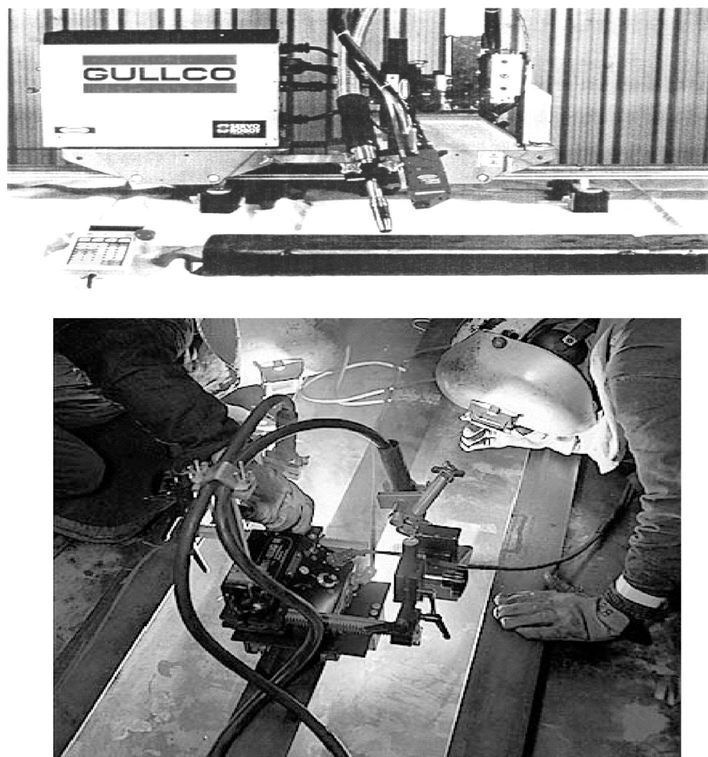


图 3-65　船体零部件的自动 CO_2 船形缝焊机



图 3-66 自动气体保护焊向上立焊焊机的焊头摆动机构和坡口跟踪机构

第 4 章　钨极氩弧焊

4.1　钨极氩弧焊（TIG）工艺要点

要点 83　掌握钨极氩弧的特点

钨极氩弧焊工艺是十分成熟的电弧焊接工艺之一，各种资料中都有阐述，这里仅就钨极氩弧的特点提出几点补充：

1. 电弧稳定性好

钨极氩弧是非熔化极电弧，它是所有类型电弧中最稳定的电弧，电流只有 10A 的钨极氩弧也可轻易获得。电弧稳定特性是表明“电弧弹性”好坏的重要指标，“电弧弹性”好的电弧，随着弧长的变化不易“断弧”。

2. 弧柱温度梯度大

氩弧也是弧柱温度梯度很大的电弧（图 4-1），这就表明氩弧也是热能比较集中的电弧。热能集中的电弧就容易控制熔池形状。因此钨极氩弧焊有良好的焊缝成形（图 4-2）。

上述两个氩弧的特性是钨极氩弧焊（TIG）获得广泛应用的主要原因。

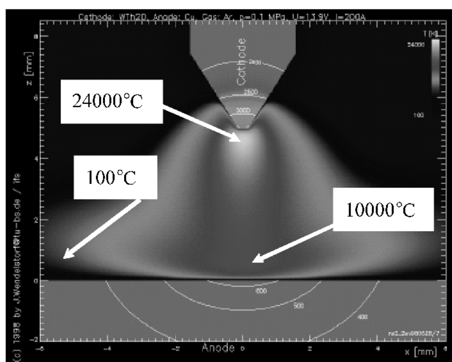


图 4-1　钨极氩弧的形态和弧柱温度分布

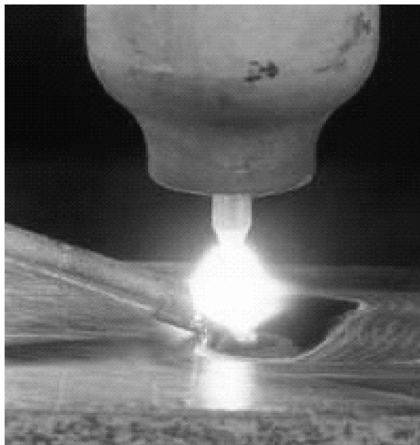


图 4-2　手工填丝（棒）TIG 焊

3. 电弧“挺度”高

“挺度”越高，电弧的“指向性”就越好（图 4-3）。而“指向性”好的电弧，就适于角接头与薄板焊件的焊接。

“挺度”高的氩弧，用于窄坡口的自动焊，容易保证焊根处焊透（图 4-4），这也是现代焊管机或厚板窄坡口的打底焊（手工或自动焊）多采用钨极氩弧焊的原因。

“挺度”高的氩弧，不容易产生“磁偏吹”现象（图 4-5）。实际焊接时，一旦电弧“磁偏吹”，那么焊缝就会偏离坡口的中心线，正常的焊接过程被破坏；如果是自动焊，电

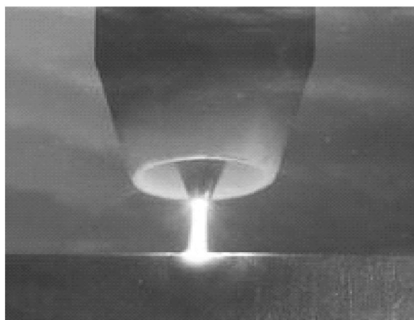


图 4-3 钨极氩弧的“挺度”

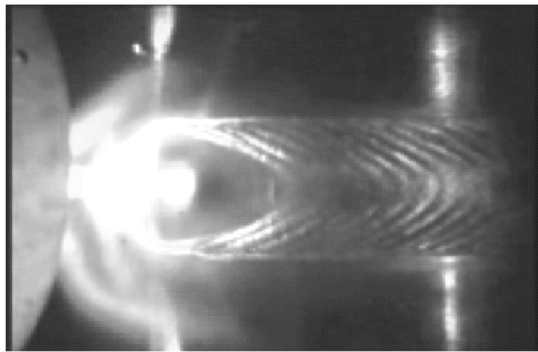


图 4-4 TIG 填丝自动焊管的焊缝成形

弧“磁偏吹”更不易纠正。

要点 84 在一般焊接中应避免使用直流电源反接焊法

直流电源钨极氩弧焊时，阳极的发热量远大于阴极。所以用直流电源正接（焊件接正）焊接时（图 4-6），钨极因发热量小不易过热，同样大小直径的钨极可以采用较大电流。此时，焊件发热量大，熔深也大，生产效率高；钨极热电子发射能力比焊件强，使电弧稳定而集中。因此大多数金属（除铝、镁及其合金外）宜采用直流电源正接焊接。直流电源反接焊接时，情况与上述相反，一般不推荐使用。

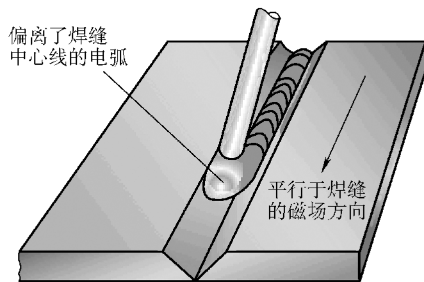


图 4-5 焊接电弧的“磁偏吹”现象

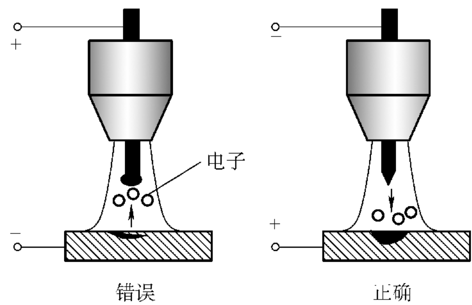


图 4-6 碳钢钨极氩弧焊适用的直流电源极性

要点 85 矩形波交流电源钨极氩弧焊负半波通电时间比例不宜过大

矩形波交流电源钨极氩弧焊可通过改变正负半波通电时间的比例 $K_R = T_R/T$ 来抑制直流分量和调节阴极清理作用的强弱（图 4-7）。但应根据焊接条件选择最小而必要的 K_R，使其既可满足清理氧化膜的需要，又能获得最大熔深和最小的钨极损耗。K_R 过大虽可获得较强的阴极清理作用，但钨极烧损严重，熔池变得浅而宽，于焊接不利。

要点 86 焊接电流较大时不宜采用尖锥角钨极

焊接电流较大时使用细直径尖锥角钨极，会使电流密度过大，造成钨极末端过热熔化并增加烧损。电弧斑点也会扩展到钨极末端锥面上，使弧柱明显扩散、飘荡不稳而影响焊缝成形，因此在大电流焊接时，应选用较粗直径钨极并将其末端磨成钝锥角（>90°）或带有平顶的锥形（图 4-8）。

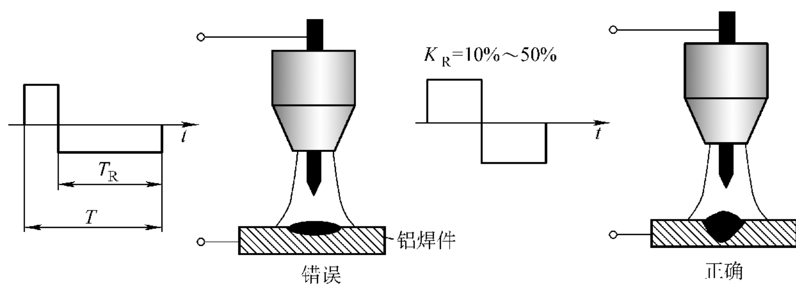


图 4-7　矩形波交流电源焊铝负半波正确比例

要点 87　气体流量和喷嘴直径不应超出应有范围

在一定条件下，气体流量和喷嘴直径有一个最佳配合范围。对手工氩弧焊而言，当流量为 5～25L/min 时，其对应喷嘴内径为 5～20mm。在此范围内气体保护效果最好、有效保护区最大。如果气体流量过小或喷嘴口径过大，会使气流挺度差，排除周围空气能力弱，保护效果不佳；若气流量太大或喷嘴口径过小，因气流速度过高而形成湍流，这样不仅缩小了保护范围，还会使空气卷入，降低保护效果，如图 4-9 所示。

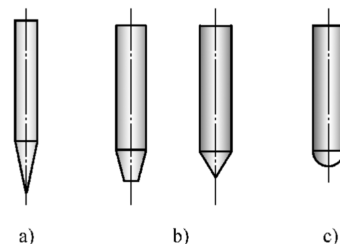


图 4-8　钨极末端的正确形状
a）小电流用　b）直流正极　c）交流

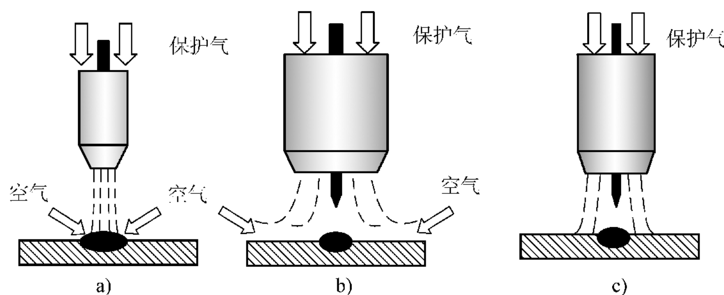


图 4-9　喷嘴大小和气体流量对保护效果的影响
a）喷嘴过小　b）喷嘴过大　c）合适

要点 88　不宜采用过大的焊接速度

焊接速度的大小主要由焊件厚度决定，并和焊接电流、预热温度等配合以保证获得所需的熔深和熔宽。但焊接速度过大，保护气流严重偏后，可能使钨极端部、弧柱和熔池暴露在空气中，从而影响保护效果（图 4-10）。

要点 89　喷嘴与焊件距离不宜过大或过小

喷嘴到焊件的距离体现了电极伸出长度和弧长的相对长短。在电极伸出长度不变时，改变喷嘴到焊件的距离，既改变了弧长大小，又改变了气体保护的状态。若喷嘴到焊件的距离拉大，则电弧的锥形底面将变大，气体保护效果将大受影响。距离太近，不仅会影响视线，

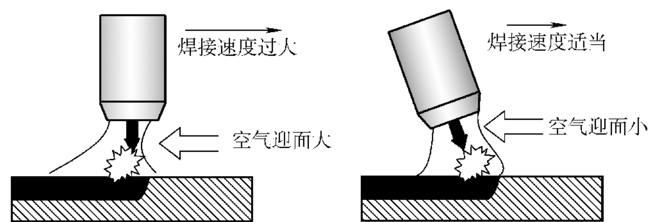


图 4-10　焊接速度过大使保护气流偏后

且容易使钨极与熔池接触，产生夹钨缺陷。一般喷嘴顶部与焊件的距离在 8 ~ 14mm 之间，如图 4-11 所示。

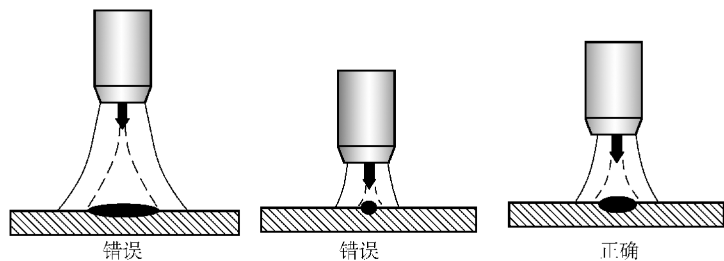


图 4-11　喷嘴要保持与焊件的合适距离

要点 90　钨极氩弧焊不宜采用接触引弧方法

接触引弧，即将钨极末端与焊件直接短路，然后迅速拉开而引燃电弧。这种引弧方法可靠性差、钨极容易烧损；而混入焊缝中的金属钨又会造成“夹钨”缺陷。因此接触引弧有较多弊端，不宜采用，如图 4-12 所示。

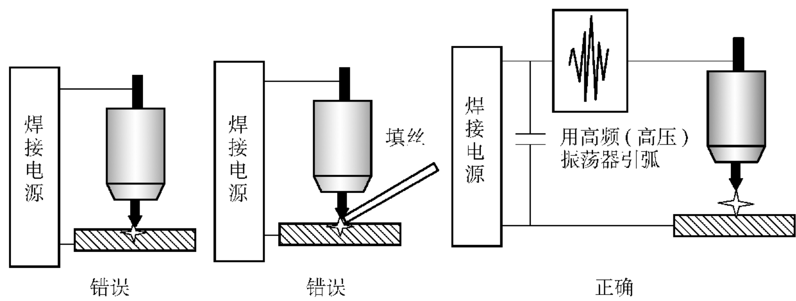


图 4-12　钨极氩弧焊的高频引弧方式

要点 91　特殊材料的焊接不能单靠喷嘴进行通氩保护

焊接不锈钢、钛及其合金时，需要采取更强的保护措施，以保护熔池及防止温度高于 400℃时的焊缝表面氧化。这时单靠喷嘴通氩保护是不够的。为了扩大保护范围，加强保护效果，通常采取的措施如图 4-13 所示。

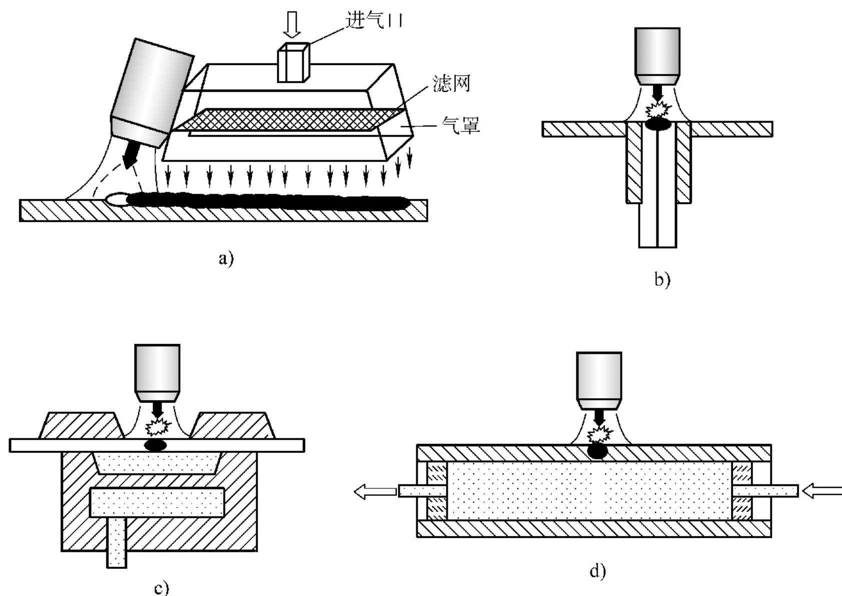


图 4-13　特殊的保护通气措施

a）焊枪后附加的 Ar 气罩　b）附加挡板　c）在焊接夹具的铜垫板上开气槽

d）在封堵管腔内充保护气

要点 92　氩弧焊接不宜采用简易焊接流程

焊接流程过于简单（图 4-14a），易产生明显的焊缝凹陷、气孔和裂纹缺陷，对热裂纹倾向较大的材料更甚。正常的焊接流程（图 4-14b）应该是在氩气保护下进行引弧和收弧，以免钨极和焊缝金属氧化，影响焊缝质量；同时采用电流衰减方法减少焊接电流，以逐步减少熔池的热输入来防止产生裂纹。

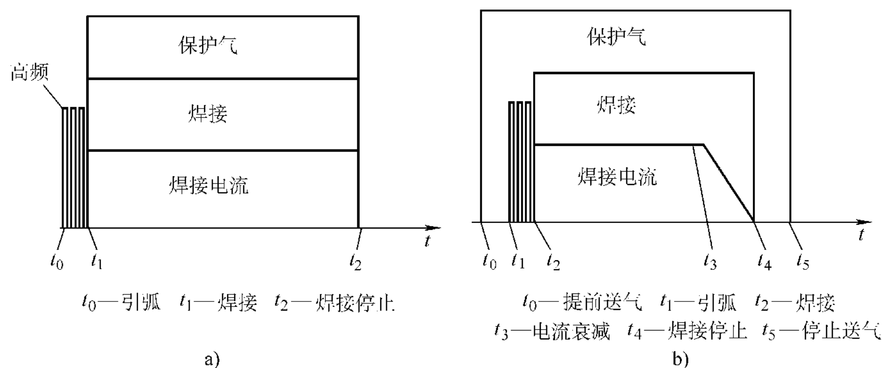


图 4-14　氩弧焊焊接流程

a）简单焊接程序　b）正常焊接程序

要点 93　填充焊丝的操作要点

手工钨极氩弧焊填充焊丝时，必须等待母材充分熔融后再沿焊件表面成 15°角方向（图 4-15），敏捷地从熔池前沿送进焊丝，此时焊枪喷嘴亦可稍向后平移一下，随后撤回焊丝，

如此重复。

操作时不允许：

1）将焊丝抬得过高或与钨棒接触。

2）将焊丝直接伸入熔池中央或在焊缝横向来回摆动。

3）将焊丝端头撤离气体保护区（图 4-15）。

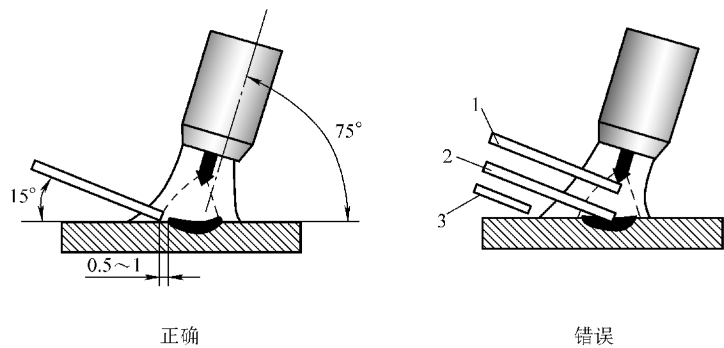


图 4-15　填丝的正确状态

要点 94　薄板焊接拼缝不宜预留间隙

薄板焊接常见的接头形式为对接，为了保护良好的焊缝成形，接缝间隙不宜过大，一般可用卷边焊接的方法一次焊透。在要求较高的场合，焊接薄板时都要使用垫板，且垫板不得与接头对缝处贴紧，以免焊不透、焊缝背部成形不良或产生缺陷，如图 4-16 所示。

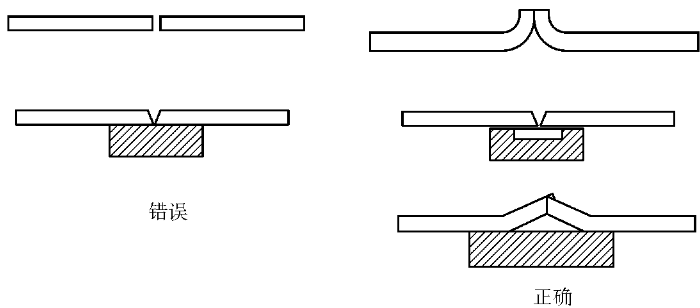


图 4-16　薄板焊接拼缝的正确接头

要点 95　仰焊时不得有熔滴产生

仰焊是操作难度较大的一种焊接位置，在一般情况下应予避免。必须进行仰焊时，焊接电流要小，焊接速度要快，送丝也要快，一般以形成熔池为限。要尽量避免熔池过热产生的熔滴，否则熔滴会在重力作用下下坠，使焊接失败，如图 4-17 所示。

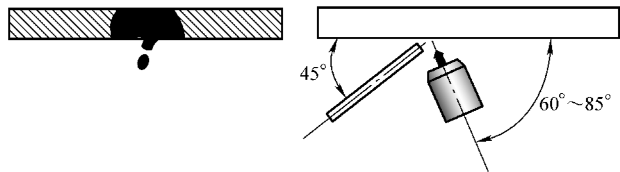


图 4-17　手工氩弧仰焊的焊枪与填丝

要点 96　管件环缝焊接要点

根据焊件运动状态不同和操作方式差异，管子环缝对焊有四种方式，其要求也各不相同：

1）全位置手工氩弧焊不宜采取沿圆周顺序焊接方式。应以分段方式将圆环分割至少为 4 ~8 个部分，每段都从下向上焊接，避免下行立焊和仰焊。这样既有利于操作又可保证焊接质量，如图 4-18 所示。

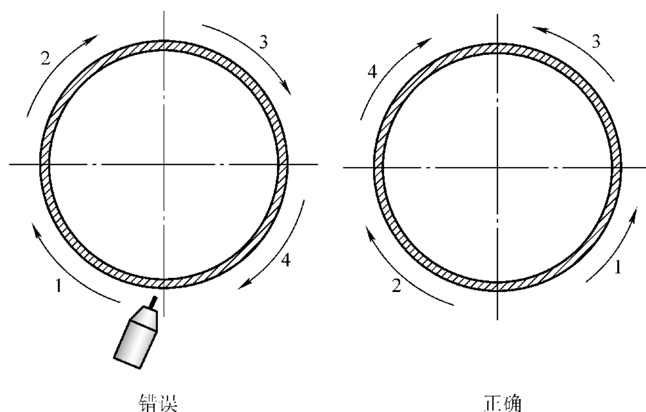


图 4-18　手工氩弧环缝焊的正确焊序

2）焊件旋转的环缝自动焊，焊枪不宜正对焊件中心线。为便于送丝和保证焊缝成形良好，焊枪应逆旋转方向偏离焊件中心线一定距离。这样焊接熔池金属基本上处于平焊位置，有利焊缝成形，如图 4-19 所示。

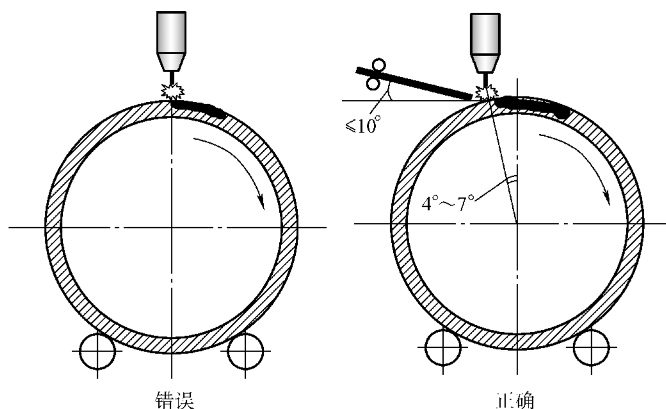


图 4-19　自动环缝氩弧焊焊枪的正确位置

3）环缝半自动焊不宜采取下坡焊方式。环缝半自动施焊时，焊枪和送丝由手工操作，为便于送丝和有利观察、控制熔池，焊枪应顺旋转方向偏离焊件中心线一定距离。这样焊工犹如在平焊或上坡焊位置施焊，操作方便，焊缝成形好。

对于管壁较厚的焊件，采用上坡位置施焊，可以获得较大的焊缝溶透深度，同时还可减少焊接层数，如图 4-20 所示。

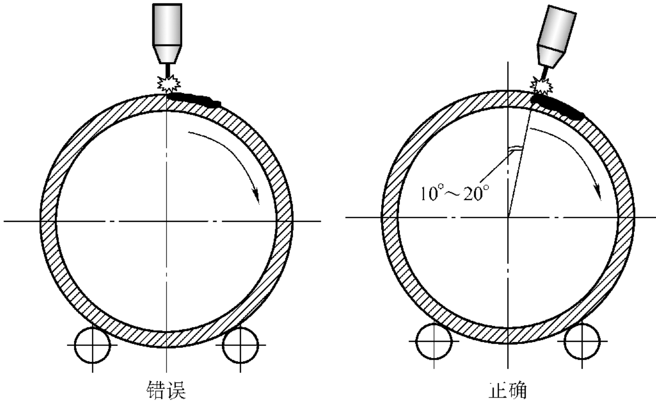


图4-20　环缝半自动氩弧焊枪的正确位置

4）全位置自动焊接不使用普通焊机。全位置自动填丝氩弧焊接，一般均采用脉冲钨极氩弧焊焊接工艺和焊接参数程序控制，即根据焊接不同位置（图4-21）改变焊接参数。

例如，新型的全位置自动焊管机使用的数控电源，最多可将焊接位置分为32个区域，分别输出如下的焊接参数：焊接电流、脉冲电流、脉冲电流持续时间、焊接速度等，可有效地控制环缝各位置的热量输入，从而获得较好的焊缝成形和均匀一致的熔透深度，获得更高的接头质量。而采用普通焊机不能高质量的完成自动全位置焊接。

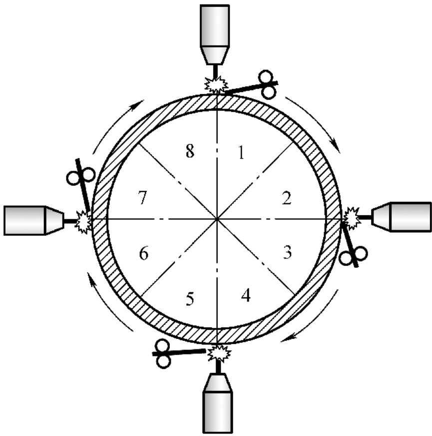


图4-21　全位置自动氩弧焊的分区参数控制

要点97　平焊操作要点

平焊是较易掌握的一种焊接位置，适于手工焊和自动焊。焊接时钨极与焊件的位置要准确，焊枪角度要适当，要特别注意电弧的稳定和焊枪移动速度的均匀性，以确保焊缝熔深、熔宽均匀一致。手工焊时宜采用左向焊法，焊枪均匀直线运动。为了获得一定的熔宽，焊枪允许横向摆动，但不宜跳动。填充丝的直径一般不超过3mm，如图4-22所示。

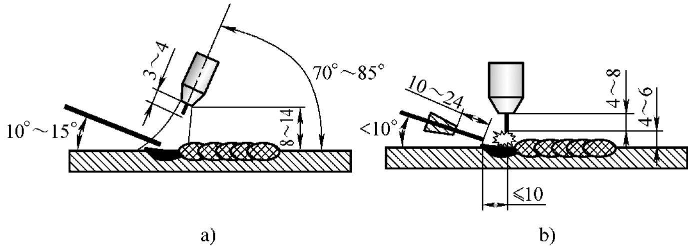


图4-22　氩弧平焊时的焊枪焊丝位置

a）手工填丝时的焊枪焊丝位置　b）自动填丝时的焊枪焊丝位置

要点 98　角接焊缝操作要点

角接焊缝要适当改变焊枪入射角度，以使两块焊板处在同样加热状态，以避免出现立板咬边和水平板塌陷（图 4-23）；如将 T 形接改成船形焊位置，则焊枪轴线与两板夹角均为 45°（图 4-24）；船形焊或船形上坡焊，是角接焊缝的最佳位置，对于操作和提高焊缝质量都是有利的（图 4-25）。

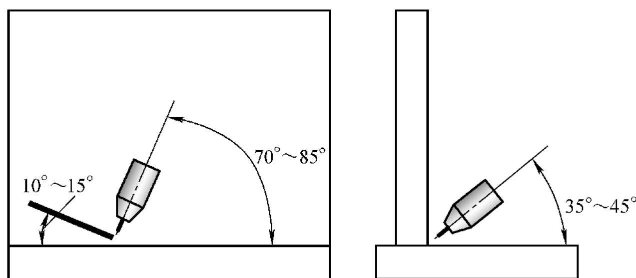


图 4-23　平角焊焊枪焊丝正确位置

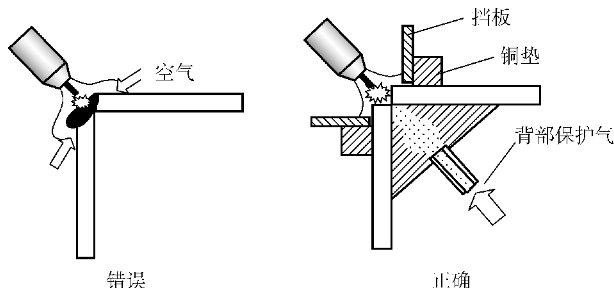


图 4-24　T 形角焊的正确方法

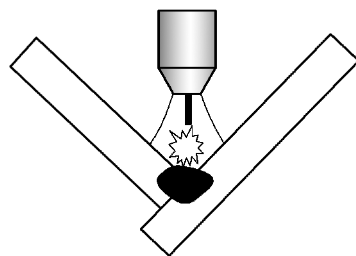


图 4-25　船形焊

要点 99　横焊操作要点

横焊时，焊缝处于垂直的焊板面上，为了阻止熔池液态金属受重力的作用下淌，必须掌握好焊枪及焊丝的水平方向和垂直方向的角度及两者间的相对位置，同时忌用较粗焊丝。若焊枪角度不对和焊丝送进速度跟不上，极易产生咬边、焊缝下部成形不良或未焊透等缺陷，如图 4-26、图 4-27 所示。

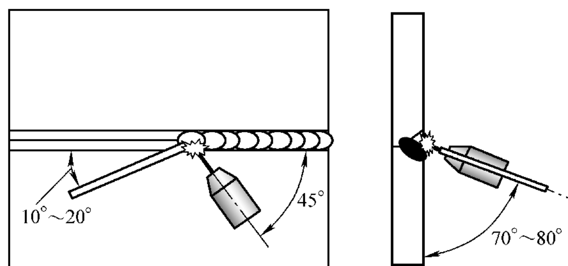


图 4-26　对接横焊时焊枪焊丝正确位置

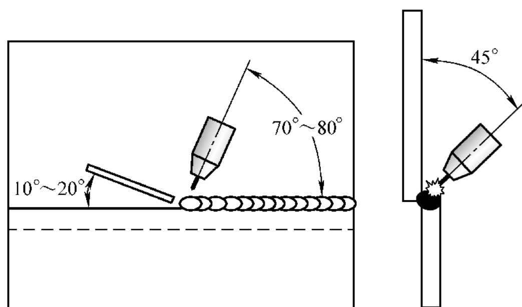


图 4-27　搭接横焊时焊枪焊丝正确位置

要点 100　立焊操作要点

立焊时，一般采用由下而上的焊接方式，焊丝在上，焊枪在下。

薄板焊件对接立焊时，由上向下或由下向上焊接均可。送丝方向以顺手为宜。立焊操作方式如图 4-28 所示，应注意：

1）输入焊缝的热输入不宜过大，焊接电流一般不超过 250A，否则熔池难以控制。

2）焊枪下垂角度过小或电弧过长会产生咬边、焊波凸起等现象，影响焊接质量。

3）焊丝直径不得大于 3mm。

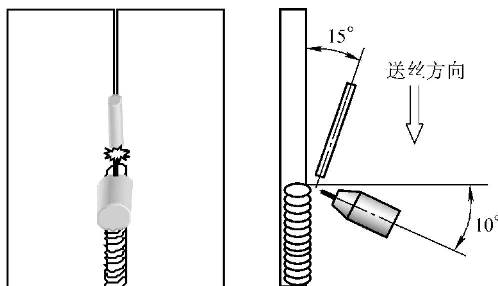


图 4-28　立焊时焊枪焊丝正确位置

4.2　钨极氩弧焊设备选择与使用要点

要点 101　钨极氩弧焊适用弧焊电源的伏 – 安特性

钨极氩弧焊为非熔化极弧焊工艺，在焊接过程中，电弧的弧长主要取决于电极尖端到焊件的距离，不存在电极熔化和金属过渡对弧长的影响。因此影响电弧稳定“燃烧”和电弧功率稳定性的主要参数是焊接电源。

为了减小焊接时因弧长变化对焊接给定电流的波动，维持电弧的稳定，应采用陡降或恒流特性的弧焊电源，如图 4-29 所示。而水平外特性的电源则会在弧长变化时，使焊接电流出现较大的波动，一般不采用。

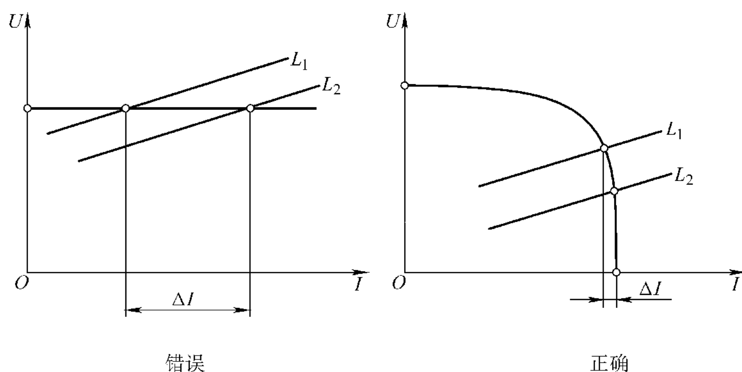


图 4-29　钨极氩弧焊适用的电源外特性

要点 102　铝合金 TIG 焊接电源选用要点

1. 掌握铝合金 TIG 弧焊接工艺中两个物理现象

两个物理现象左右着焊接机理：一是铝合金焊件高温状态时形成的熔池表面 Al_2O_3 阻焊膜的破碎现象；二是 TIG 焊时钨电极的高温烧损现象。因为铝合金 TIG 弧焊接工艺能否进行、焊接质量的好坏，都与其相关，而这两个物理现象的产生，与焊接电弧中正离子与电子的“行为”分不开。

从物理学中得知：正离子所携带的电荷量与电子的电荷量相当，可是前者的质量却远大于后者。这就决定了焊接电弧中，“导电”的主因是电子，“捣毁”阻焊膜的主因是正离子。

质量大的正离子在图 4-30 所示电场（直流反接）作用下，冲击熔池表面 Al_2O_3 阻焊膜，就造成 Al_2O_3 阻焊膜的破碎，而只有在阻焊膜破碎的前提下，才能使铝合金的焊接进行下去。

在同一电场作用下，大量带负电荷的电子涌向表面积很小的钨电极尖端，这造成了钨电极尖端温度的急剧上升，结果钨电极急剧烧损，而钨电极烧损过快，焊接过程也无法进行下去。

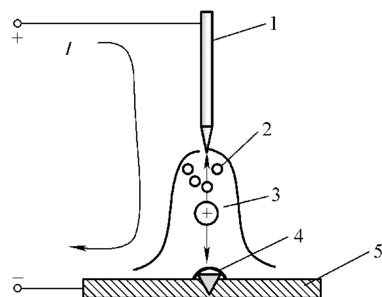


图 4-30　“阴极破碎”效应的物理解释
1—钨电极　2—电子　3—正离子
4— Al_2O_3 膜　5— Al 焊件

当电弧电场与前相反时（直流正接），虽然此时也有正离子冲击钨电极尖端，但冲击钨电极尖端正离子的数量太少（因质量大的正离子运动速度很慢），因此钨电极不会烧损；与此同时，是大量带负电荷的电子涌向表面积比钨电极尖端大很多倍的焊件熔池，但质量太小的电子群却不能“捣毁”熔池表面 Al_2O_3 阻焊膜。为此，铝合金 TIG 弧焊接工艺时，既要阻焊膜的破碎（即通常专业术语所指“阴极破碎”）、又要减少钨电极烧损，只有采用交流电源。即在相当直流正接的交流半周用来“阴极破碎”，而在相当直流反接的交流半周缓和一下钨电极的烧损。

2. 了解铝合金 TIG 弧焊最适宜的交流电源类型与简单原理

采用工频交流电源时，既有“阴极破碎”效应，又可减小钨极烧损，但却带来“整流效应”问题：当钨极处于负极时，电子由钨极发射，此状态时电子发射量多；当钨极处于正极时，电子由铝合金的表面发射，此状态时电子发射量就远小于前一状态。

电子导电状态的宏观表象就是电流。上述处于不同交流电半周的电子发射量的不同，其宏观表象就是电弧电流、电弧电压在正、负半周时不同：钨极处于负极（铝焊件处于正极）时的半周，电弧电流大、电压低；钨极处于正极时的半周，电弧电流小、电压高。

电弧电压与电弧电流的波形如图 4-31 所示，这种情况下的焊接电弧就像个不完全的整流器，它作为工频交流电源的负载必然使电路中的电流不对称，也就是电流出现了直流分量，这就是采用工频交流电源 TIG 焊铝合金时的“整流效应”。

直流分量的存在，一是使“阴极破碎”效应减弱、二是直流分量容易使交流电源中的变压器铁芯饱合，从而引起变压器铁芯发热。为消除直流分量，以往的常用方法，是在交流电源主电路中串联隔直电容（图 4-32），但由于隔直电容容量要用很大，因此在现代已被工频交流方波电源取代（图 4-33）。

工频方波电源的主电路中，U_2 是焊接电源变压器的二次电压、U_s 是输出的方波电压，晶闸管 $VT_1 \sim VT_4$ 组成所谓“交—交”电压变换桥。而由正弦交流电压 U_2 变换为同频率方波电压 U_s 的关键器件，是晶闸管变换桥直流臂上所串联的电抗器 L。如果与传统的 TIG 焊铝电源中消除直流分量的方法（在交流电源中，串接大量的所谓隔直电解电容器）相比，工频方波电源不仅大大减轻了重量，而且在电源的控制性能上有了很大提高。

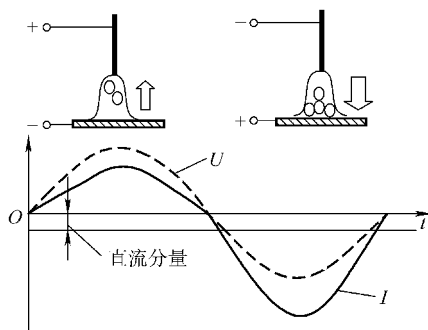


图4-31　TIG焊铝出现直流分量

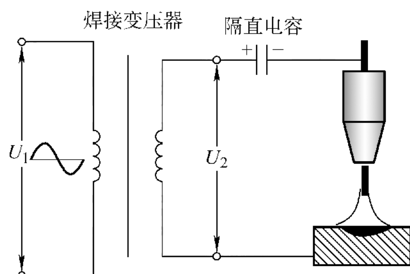


图4-32　直流分量的隔直电容消除法

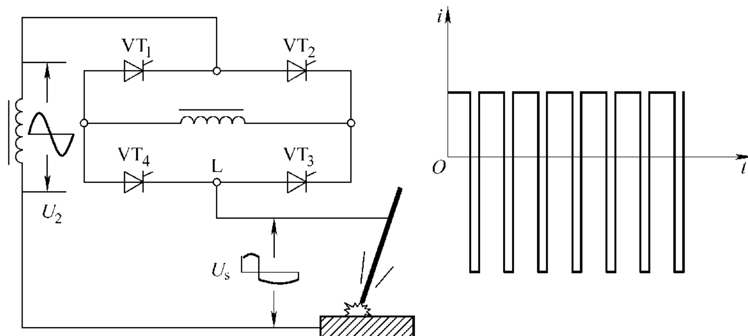


图4-33　工频交流方波电源

改变不同半周的晶闸管对（VT_1、VT_2 是一对，VT_3、VT_4 是另一对）的控制角 α_1 和 α_2，就可调节焊接电流 $I_{\alpha1}$ 和 $I_{\alpha2}$ 的导通角 θ_1 和 θ_2。也就是说，晶闸管对控制角的改变是触发脉冲移相角 α_1 和 α_2 决定的。

其电源控制思路是：在每个导电的半周控制方波电压的宽度，即改变电弧电流导通的时间。即对应电弧电流 I_α 较大的半周，使其导通的时间短；而对应电弧电流 I_α 较小的半周，使其导通的时间长。而且总可做到不同半周焊接电流的平均值 I_α 与电流导通时间的乘积是相等的，如图4-34所示，即不同半周内，可使电流曲线下的面积是相等的，从而消除了直流分量。

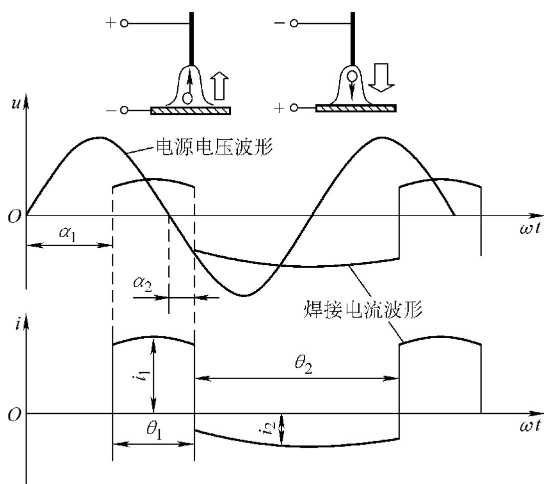


图4-34　工频交流方波电源的波形

图4-34中，$I_{\alpha1}\theta_1 = I_{\alpha2}\theta_2$，这是一种平衡状态；如果实际状态 $I_{\alpha1}\theta_1 > I_{\alpha2}\theta_2$，这时的焊接效果是焊缝熔深较大、而“阴极破碎”效应相对减弱。这种状态定义为最大穿透力方式（max penetration）；而当 $I_{\alpha1}\theta_1 < I_{\alpha2}\theta_2$ 时，“阴极破碎”效应相对增强、而

熔深则较浅。这种状态定义为最大清洁宽度方式（max clean）。

由于晶闸管对的导通角 $\theta_1+\theta_2=360$ 电角度，因此总可以找到一种 θ_1、θ_2 的组合，使直流分量恰好等于零。电源的控制电路中，一般是用一只电位器来调节出直流分量恰好等于零的控制点，并定义此点为平衡点。调节这个电位器，使 θ_1 增大，则焊接电流是向着最大穿透力方式（max penetration）方向增加；相反，调节电位器，使 θ_1 减小，则焊接电流是向着最大清洁宽度方式（max clean）增加。

综上，定义 $\beta=[\theta_1/(\theta_1+\theta_2)]\%$，称为工频方波电源的电流比。而控制导通角 θ_1 和 θ_2 的电路，也就是电流比 β 控制电路。

图 4-35 所示是两台典型工频交流方波电源，一台为 MILLER 公司（美）产、一台为国产。



图 4-35　TIG 焊用工频交流方波电源

除了工频交流方波电源外，现代已大量推出适用于铝合金钨极氩弧焊（TIG）的数字控制电源，数字控制电源的主电路一般都采用大功率晶体管（如 IGBT、MOSFET）高频逆变器。而这时焊铝合金去除直流分量就采用交流调制法（图 4-36）。

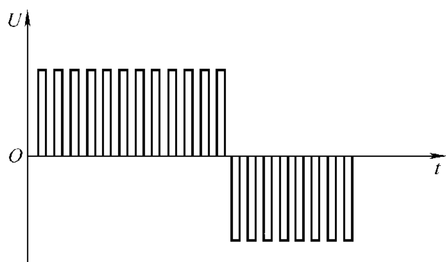


图 4-36　逆变电源 TIG 铝合金焊接调制方式

适用铝合金 TIG 焊的数字控制电源，也一定适用于碳钢、不锈钢的焊接，即数字控制电源多为 AC/DC 输出的多功能电源。在数字控制电源的控制面板上，一般都有被焊材料选择功能。

当今，数字控制电源已经渗透到所有的弧焊工艺中，只要是规模化、高质量要求的焊接生产场合，如化工炼油厂设备制造、核电、军工，已全面进入了焊接电源的数字控制时代。也就是说，当今只要是碰到氩弧焊工艺的场合（无论是产品制造还是维修），数字控制电源是首选。

要点 103　薄板对接 TIG 焊接电源选用要点

薄板用 TIG 电弧拼焊时，在薄板焊缝的两端都会形成向内凹陷的豁口（图 4-37），豁口

尖端的形状（尖锐状还是圆弧状）对拼焊薄板的拉伸（垂直焊缝方向）强度有很大影响，一定以形成圆弧状豁口为好。

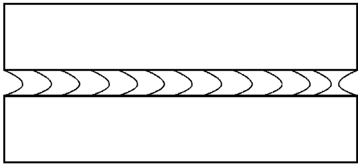


图4-37　薄板对接TIG焊缝起弧和收弧豁口

实际上，豁口是薄板起弧或收弧处的不完整的熔池，因此为了调节这个不完整的熔池的形态，使其形成圆弧状豁口的熔池，就是用起弧段电流的“上升”（“UP”）及收弧段电流“下降”（“DOWN”）功能实现的，如图4-38所示。

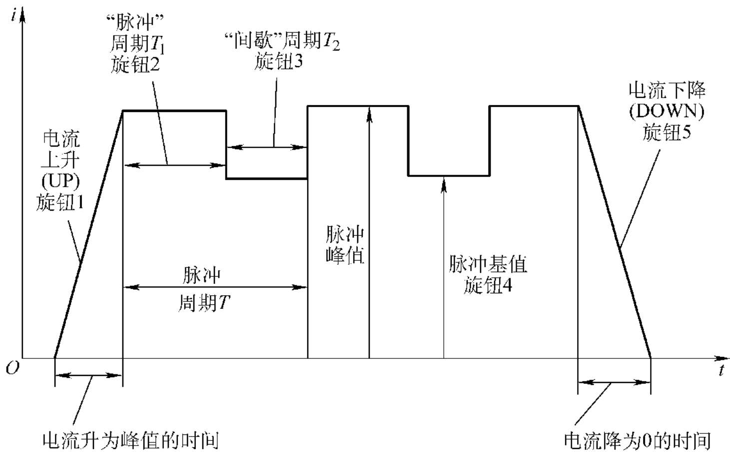


图4-38　起弧段电流上升（“UP”）、收弧段电流下降（“DOWN”）及电流脉冲调制波形的定义

注：图中旋钮1～旋钮5见图4-39。

这就是现代弧焊电源控制面板上，为此而设的“UP”、“DOWN”电流两个调节旋钮，确切地说，“UP”、“DOWN”电流调节，是调节起弧段电流的上升段斜率和收弧段电流的下降段斜率。而在近年大量推广的数字控制电源中，“UP”、“DOWN”两段电流是以程序形式给定的，而不是如上面的模拟式电源，使用调节旋钮给定。

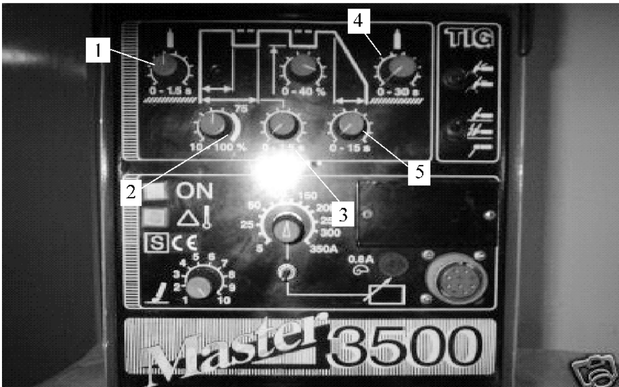


图4-39　一种模拟式脉冲调制弧焊电源

对有起弧和收弧程序的焊接工艺，电流参数还应包括：电流升为峰值的时间与电流降为零值的时间。

模拟式脉冲调制功能的焊接电源对上述电流脉冲参数的调节，是模拟量调节方式。例如图4-39所示中，通过焊接电源控制面板上的电位器旋钮来分别调节与图4-38所示相对应的几个电流脉冲量。

要点104　掌握数字式TIG焊接电源的选用要点

TIG数字式焊接电源电流脉冲参数的调节，是数字量调节方式。

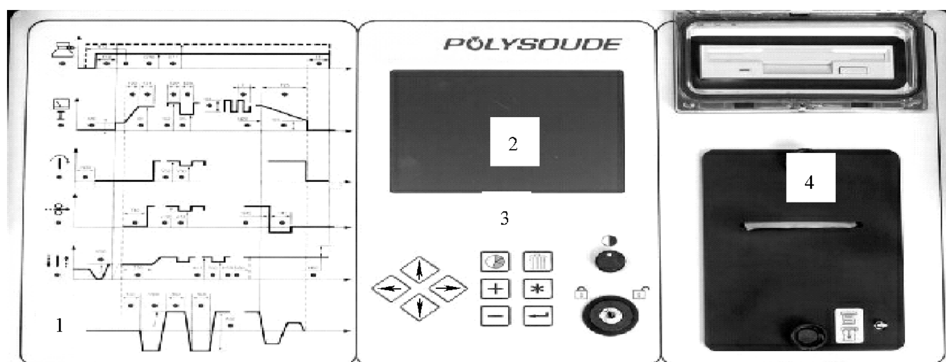


图 4-40　可编程数字式 TIG 焊管机电源的控制面板

1—脉冲电流编程指导波形　2—显示屏蔽　3—编程键盘　4—光驱

从外表上看，数字式脉冲调制功能的焊接电源的控制面板（图 4-40）没有电流脉冲参数调节旋钮，取而代之的是设定数字的键位与相关的显示屏；为方便操作，控制面板上还往往要标示出当前正在调节或正在使用的所谓实时电流脉冲参数的曲线。

现代 TIG 焊接电源，特别是数字式脉冲调制 TIG 焊接电源，几乎全都采用由大功率晶体管（主要为 IGBT）制成的逆变器电源（图 4-41）。

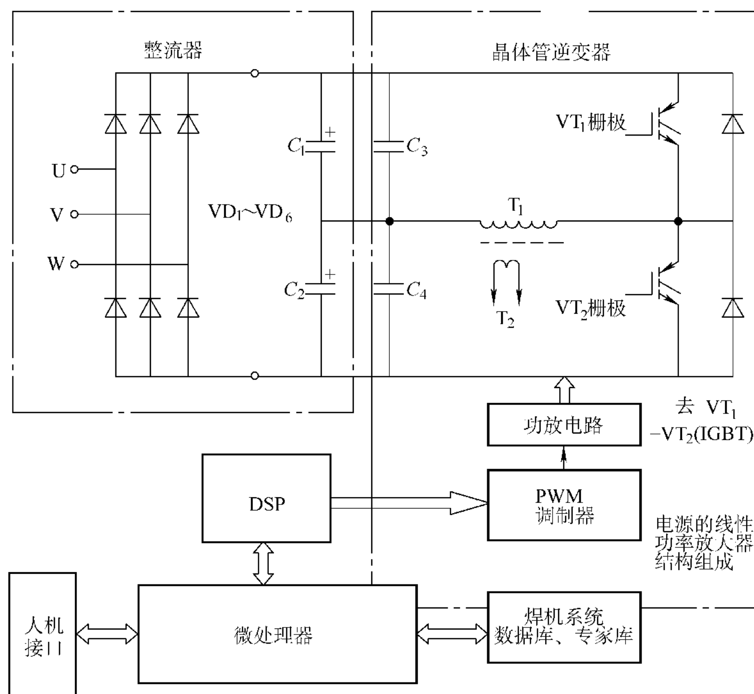


图 4-41　数字式电源的电路结构框图

其线性功率放大器就是指逆变器主电路、PWM 调制器与功放电路以及电源模拟控制电路。

从原理上来说，逆变焊机主电路结构都是基本相同的。而模拟控制电路部分的功能，主

要是进行电源外特性控制。外特性控制又分为基于电流反馈的陡特性控制和基于电压反馈的平特性控制，以及两者的组合与相互转换控制技术。

PWM 调制器与功放电路的功能则主要是对大功率晶体管逆变器进行脉冲调制，PWM 调制器可以采用传统的模拟器件也可以采用数字化器件。

现代的数字控制器（DSP）不仅具有极高的数据处理能力，而且有多路片内 PWM 输出和 AD 输入，可以很方便地替代模拟控制器，实现 PWM 调解器的数字化。

对于高档数字式焊管机，一般采用复杂的专用数字控制器（DSP）和系统微处理器。这时，可以方便地实现复杂电源外特性的控制和特殊材料，诸如铝合金、不锈钢、钛合金等的焊接。

而系统微处理器的主要功能，一是用于脉冲焊接专家参数库的建立；二是对该专家参数库的调用。显然，对于传统焊机来说，是无法实现上述功能的。

由此可见，数字化焊机真正价值在于极大地改善了焊机的参数调节性能，特别是在大范围、多数据的非线性协调方面。

数字化焊机用户调节焊机参数的过程，实际就是通过人机界面对焊接专家参数库进行调用。对于数字化焊机的用户来说，体验的数字化技术实际上主要是人机界面技术，或者也可以说数字化焊机的实际功能是通过人机界面发挥的。

通过系统微处理器与通用管理计算机的接口（图 4-42）和焊机参数人机操作界面的数字化，不仅可以使用户对焊接过程进行更精确、更多样化的设置，而且数字化的焊接参数远控接口则提供了焊机用户与制造厂商、相关焊管技术部门一个网络平台，从而极大地提高了焊机性能发展空间。



图 4-42　与管理计算机接口的数字式电源

要点 105　注意 TIG 焊管机配套电源的引弧成功率

TIG 焊管机都是全位置自动焊管，无论填丝与否，均采用非接触引弧方式。对 TIG 焊管机来说，引弧是焊接程序控制的最重要的一步，因为引弧失败，焊接程序就要重新启动，为使焊接过程顺利进行，当然是希望引弧成功率越高越好。因此引弧成功率是选择 TIG 焊管机时的不能忽略的考查性能指标之一。

要点 106　TIG 自动填丝焊工艺是全位置 TIG 焊管机的关键技术

TIG 自动填丝焊工艺，就是采用自动送丝的方式，在用 TIG 焊枪焊接的熔池中填充焊缝金属（图 4-43）。这种看似简单的工艺方法，却是大部分全位置自动焊管机的关键技术，即大部分全位置自动焊管机的焊头几乎都采用这种模式。

其主要原因：一是氩弧稳定；二是 TIG 自动填丝焊的氩气喷嘴可以作到很小（图 4-44），这就为全位置 TIG 厚壁管焊管机的开发，提供了技术可能性，因为进行全位置 TIG 厚壁管焊接时，只有尺寸小的氩气喷嘴才能深入到深而窄的坡口中，如图 4-45 所示。

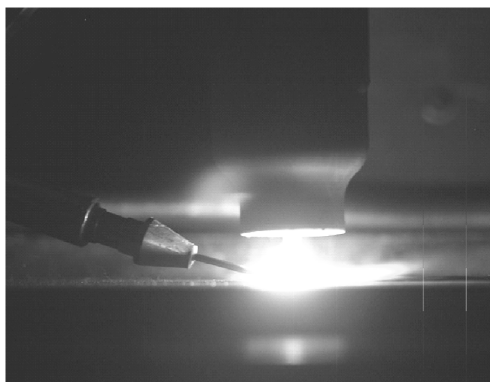


图 4-43　TIG 自动填丝焊工艺

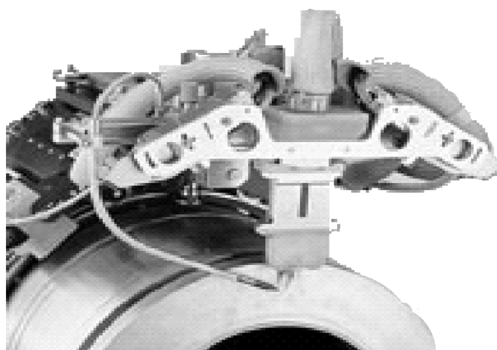


图 4-44　小焊嘴 TIG 自动填丝焊机

要点 107　爬行小车全位置 TIG 焊管机的技术要点

1. 全位置 TIG 焊管机的绕(管圈) 伺服

全位置 TIG 焊管时（图 4-46），被焊的对接管接头本身不旋转，只是焊枪（一般为 TIG 焊枪）围绕管接头坡口的中心线作大于 360°的旋转。

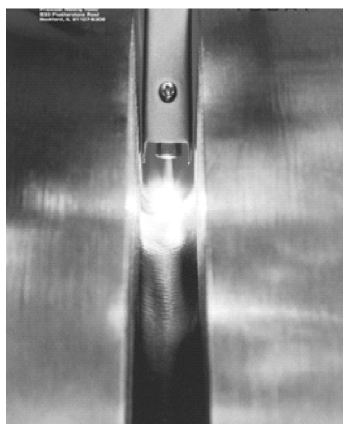


图 4-45　窄间隙 TIG 自动填丝焊（AMI）

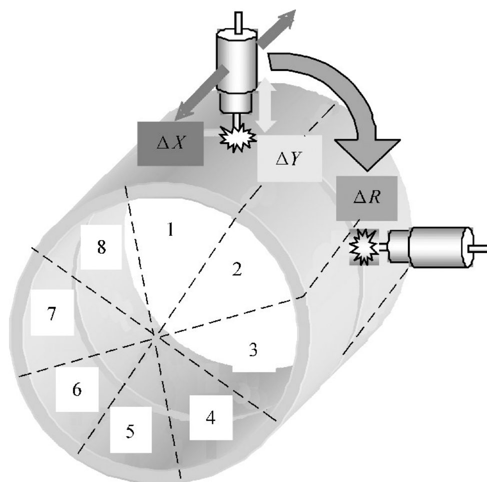


图 4-46　全位置焊管焊嘴伺服动作示意图

这样一来，焊枪相对于管表面就可能出现多种焊接位置状态：有平焊位、向下立焊位、仰面焊焊位、向上立焊位以及这四种焊位中间的多种焊接位置状态。

正是因焊接一道对接管接头的环缝，焊枪会处于多种焊位，所以将这种电弧焊管设备称之为全位置自动焊管机。

而完成一道管子环缝的焊接，不仅要求 TIG 焊管机的焊头要以均匀的焊接速度绕管旋转，同时还要将焊接电流、保护气体、填充焊丝以及冷却水接通到焊头上的相应部位。

为满足不同弧焊的工艺要求和保证优良的焊接质量，焊接过程中，有时还要求焊头作横向摆动。

因此从外观上看，有很多导线、水管、气管、电缆线通往焊管机，如图 4-47 所示。

为顺利实现水、电、气的“三通”，必须对焊管机这些导线、水管、气管、电缆线进行合理布置和安排。

显然，被焊管的管径越小、焊管机的体积也相应减小，而对焊管机的机电一体化系统的精度要求却更高，同时，对焊管机的灵活性要求也越高。

因此全位置焊管机是自动化程度较高的机电一体化弧焊设备。

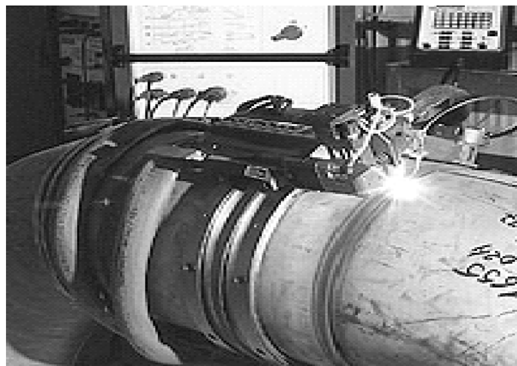


图 4-47　全位置焊管机是机电一体化弧焊设备

2. 爬行小车式焊管机的系统组成

爬行小车式焊管机主要应用在管径较大的管对接焊中，一般可焊管径为 100 ~ 1500mm；爬行小车式焊管机的主要外观特征是有一个绕管旋转的爬行小车。爬行小车式焊管机一般包括以下几个机电系统（图 4-48）：

1）小车爬行机电系统。

2）焊头摆动机电系统。

3）电弧电压自动控制。

4）焊丝送给机电系统。

5）焊接电源自动控制系统。

6）焊机控制与管理系统。

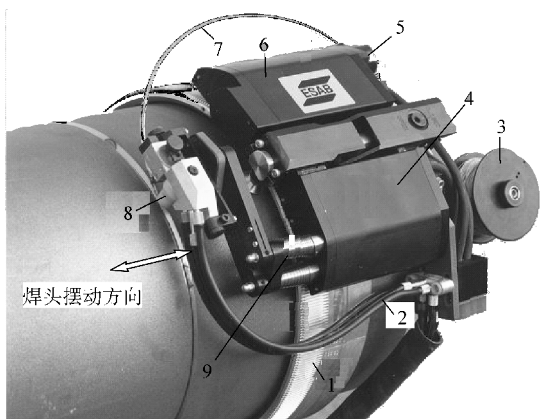


图 4-48　ESAB（瑞典）大口径焊管机的焊头摆动机构
1—齿圈轨道　2—冷却水导管、焊接电缆、电弧保护气管　3—焊丝盘
4—焊头摆动机构　5—“爬行小车”驱动
6—“爬行小车”与齿圈轨道连接机构　7—导丝管
8—焊嘴　9—焊头摆动滑杆

爬行小车式焊管机多采用小车沿轨道钢圈爬行旋转的方式：即焊接时，小车沿固定在焊管外表面上的钢制圆圈轨道（图 4-49）绕管爬行旋转，从而带动小车上的焊头围绕焊缝旋转，钢制圆圈轨道是用螺栓张紧在被焊管道上，钢制圆圈轨道的优点是不受被焊管道材料的限制，并且安装和拆卸都很方便。钢制圆圈轨道可根据管道直径配套选用。

带齿条的轨道钢圈用均布的箍紧螺钉箍紧在被焊管的焊缝一侧，构成了焊接小车的爬行轨道。夹持轨道的两侧轴承轮中的一侧，一般可以通过螺杆和滑块作横向移动，以实现小车在轨道上夹持与拆卸，从而方便爬行小车安装或卸下轨道。

在爬行小车上，装有卡住轨道边缘的卡辊，防止爬行小车侧滑。

爬行轨道也可在不锈钢薄板上制成齿孔并固定于焊件表面，然后以齿轮在薄板上与齿孔啮合方式带动小车爬行（图 4-50）。

图 4-51 所示的“爬行小车”式焊管机（MAGNETECH），其外形小巧紧凑，是专为管间距较小、空间位置有限的小管径（60mm）钢管全位置焊而设计的。

其设计特点：爬行小车绕管 360°的圆周旋转，采用了“磁性粘合爬行辊”的方案。

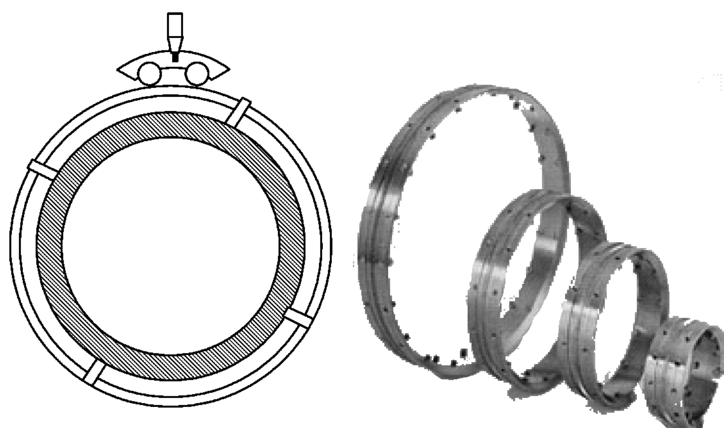


图 4-49　爬行小车的齿圈轨道

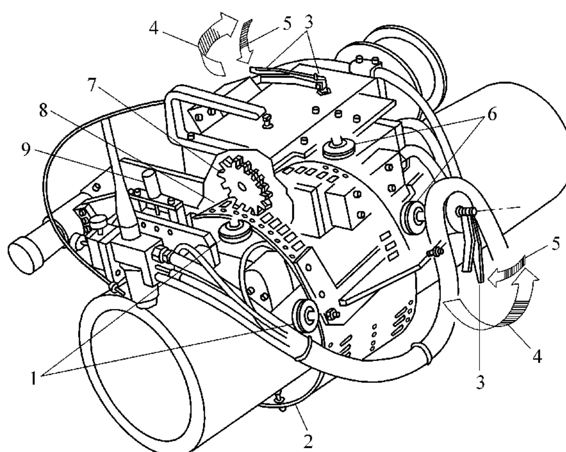


图 4-50　一种轨道形式设计

1、6—左右卡轮　2—轨道板　3—线卡子　4、5—线卡的装卸动作

7—小车走齿轮　8—轨道板齿孔　9—机头摆动开关

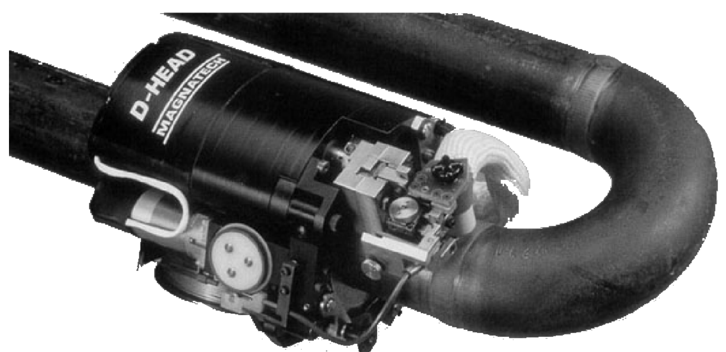


图 4-51　以管身为轨道的爬行小车式焊管机

3. 焊头摆动伺服机电系统

焊头之所以须横向摆动，是基于以下几点理由：

1）焊头横向摆动可得到较宽的合适焊缝，例如管接头盖面焊缝的焊接。

2）窄间隙焊接时，焊嘴必须横向摆动才能得到较宽焊缝。

3）只有焊头横向摆动且焊头横向摆动带动焊嘴在焊趾处停留一定的时间，才能保证焊趾处的焊接质量。

因为焊头横向摆动且在焊趾处停留一定的时间，可形成如图 4-52 所示的焊嘴端点的各种运动轨迹。

考虑到除焊头横向摆动速度外，还要将焊接速度、焊嘴在焊趾处停留一定的时间以及不同形状的坡口焊接工艺考虑进来，那么对图 4-52 所示各运动轨迹的形状成因就不难理解。

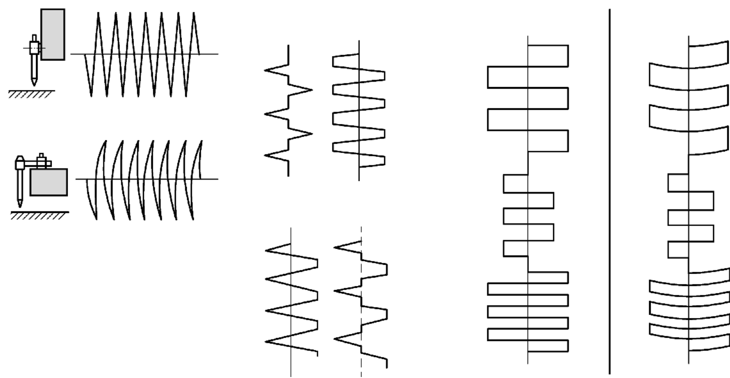


图 4-52　焊头摆动形成焊嘴端点的各种运动轨迹

焊管机的焊头摆动机电系统是焊管机机构设计中技术含量集中的部位，也往往是不同生产厂家、不同型号产品的专利。

下面，列出对焊管机焊头摆动机电系统的常规要求，以便选用焊管机时加以注意：

1）摆动机电系统要灵活、轻巧、刚度好、工作稳定可靠、拆卸方便。

2）焊头摆幅要有自动与手动选择功能。

3）焊头摆幅设定与自适应选择功能。

4）焊头摆动在焊缝两侧（焊趾）停留时间调节。

5）焊头摆速调节功能。

6）焊嘴（电弧）运动轨迹选择功能。

7）焊接方向选择功能。

8）与摆动机电系统相配合的焊接速度调节功能。

9）设定摆幅工作方式下，始摆方向选择功能。

10）设定摆幅工作方式下电弧纠偏调节功能。

要点 108　开口式 TIG 焊管机的技术要点

开口式焊管机的外观特征是有一个绕管旋转的开口式转盘，转盘上一般安装 TIG 焊嘴，如图 4-53 所示，这就是不填丝开口式焊管机。如果向焊缝填丝，就构成填丝开口式焊管机，如图 4-54 所示。

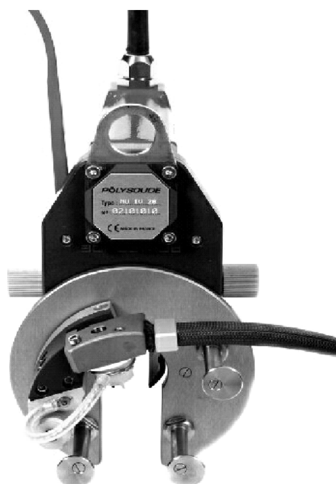


图 4-53　不填丝 TIG 开口式焊管机

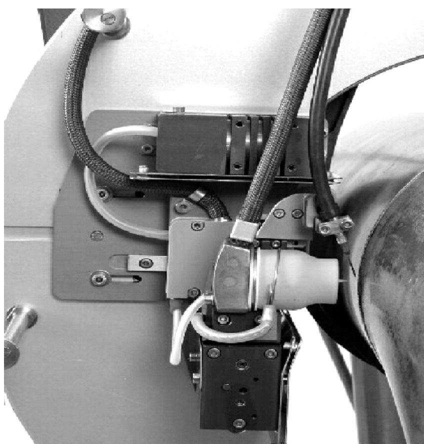


图 4-54　填丝开口式焊管机的填丝焊头

1. 开口式焊管机的结构特点

开口式焊管机一般用于 50 ~ 150mm 管径的焊管，因此其结构设计就形成以下特点：

1）一般都考虑了焊头的自（动）定（管）心装置，如图 4-55、图 4-56 所示。

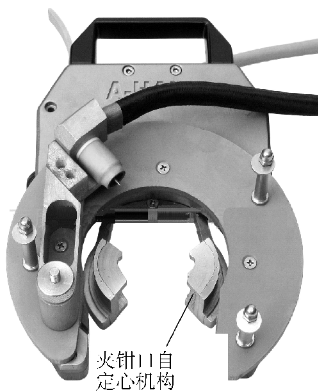


图 4-55　开口式焊管机自定心结构之一

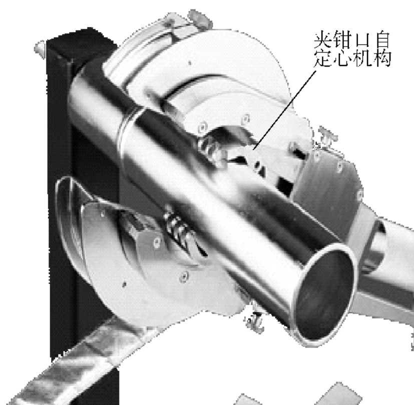


图 4-56　开口式焊管机自定心结构之二

2）由于被焊管径小，为避免绕管旋转的各种导线束、水管、气管、电缆线弯折，必须事先考虑好各线束的弯折曲率，以保持水、电、气的畅通。为此，开口式焊管机上都设计有挡线杆，如图 4-57 所示。

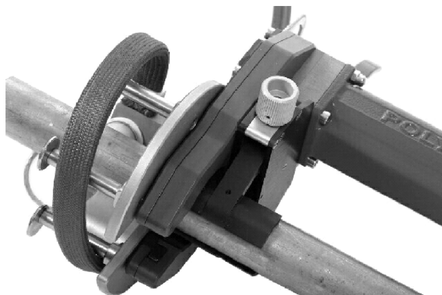


图 4-57　开口式焊管机挡线杠的作用

每焊完一条焊缝后，开口式焊管机一般是通过控制程序的设定，将开口转盘倒行旋转至原位，以使各线束复位，避免线束反复弯折。

3）为使焊枪旋转，开口式焊管机一般均以被焊管的表面为旋转轨道面。而旋转机构往往采用压力贴附辊轮式旋转机构。

例如图4-58所示中，贴附辊轮是用轴承代替。由图4-58看出，四只轴承也同时起到自定心装置的作用。

图4-59显示了一般开口式转盘的旋转机构：开口式转盘通过一连杆与电动机驱动的贴附辊轮连成一体，因此当贴附辊轮绕被焊管的表面滚动时，带动开口转盘绕管旋转。

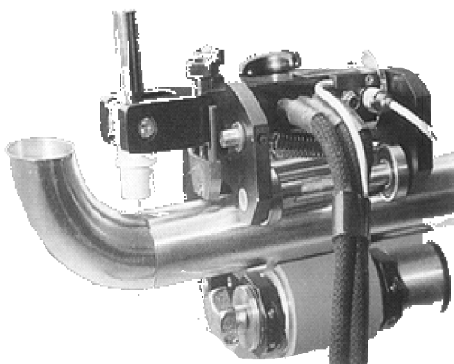


图4-58 轴承贴附辊轮式旋转机构

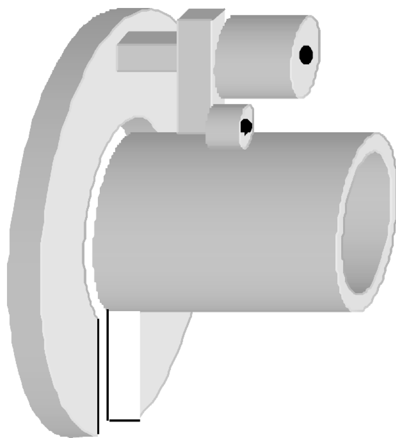


图4-59 贴附辊轮式旋转机构

2. 开口式焊管机的控制系统

与爬行小车式焊管机相比较，开口式焊管机的控制系统与前者基本相同，诸如：

1）均采用先进的逆变电源技术与高精度数字化控制系统。

2）旋转机构均采用高精度直流或步进电动机驱动调速系统。

3）多具备AVC（自动电弧电压，即弧长）控制系统。

4）智能化的计算机控制系统。

5）通过计算机设定自由编程的程序库。

6）通过遥控器实现控制和修改主要焊接参数。

7）设备一般都配备自动诊断系统，显示器直接显示焊机出错信息。

8）焊接进程及电流参数实时显示，让操作者一目了然。

要点109 封闭式TIG焊管机的技术要点

封闭式焊管机是指从外面看不到焊嘴部分的一类全自动TIG焊管机，如图4-60所示。

封闭式焊管机一般都不再填丝，适用于50mm以下、不开坡口的细管TIG熔焊对接。因无焊丝填充，因此一次焊成的焊缝表面稍显凹形，如图4-61所示。

封闭式焊管机主要特点是TIG焊头不再使用电缆、气导管的导电、导气方式，取而代之的是所谓“无（导气管、导电束）线结构”。

TIG焊头的绕管旋转是采用齿轮传动方式的转盘，封闭式焊管机的焊接电流是采用电刷与导电圆盘的滑动接触导电的，如图4-62所示。

因为要安装、拆下焊管机的焊头，因此带齿的转盘制成两瓣式的结构。

封闭式焊管机的TIG焊嘴直接安装在转盘的一侧，并通过转盘上的导气孔与转盘的另一侧贯通。因此当转盘的另一侧充有TIG焊保护气时，保护气就会经导气孔到达焊嘴，并经喷嘴向焊缝区提供保护气（图4-63）。

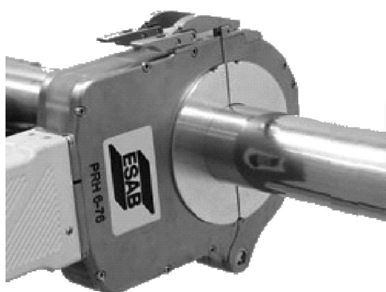


图 4-60　封闭式焊管机（ESAB）

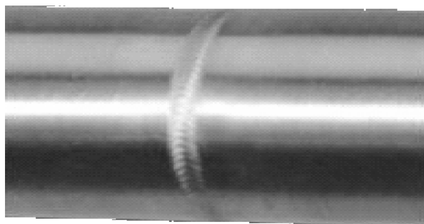


图 4-61　封闭式焊管机焊出的焊缝

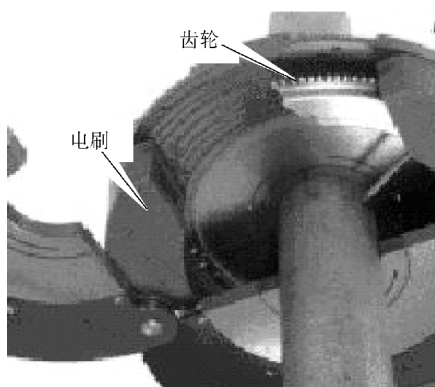


图 4-62　齿轮传动方式的转盘

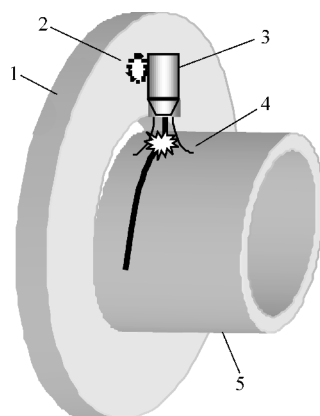


图 4-63　封闭式焊管机的导气方式示意图
1—焊嘴安装盘　2—在焊嘴安装盘上的导气孔
3—焊嘴　4—保护气流　5—被焊管件

对封闭式焊管机的结构，还要求：

1）尽量紧凑、轻便、适用于不同形状管－管、管－法兰等焊件的焊接，方便操作。

2）同一种机型有较宽的可适用管径范围。

封闭式焊管机的应用特点：

封闭式焊管机焊头设计小巧、使用灵活，一般适用于 50mm 以下小管径焊管，最小可焊接 10mm 细管（图 4-64）。

扁平状的焊头（图 4-65）使其适合于拥挤的管系焊接。

可打开的焊头端盖的设计形式，使装夹和卸下焊头很方便（图 4-66、图 4-67）。

封闭式焊管机的焊管质量也很高（图 4-68）。

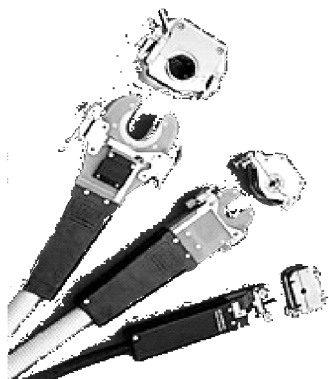


图 4-64　小口径封闭式焊管机

封闭式焊管机的结构特点：

对封闭式焊管机来说，由于采用了开口的定径卡口片自动定心机构，为使钨棒（图 4-69）做 360°圆周运动，多采用图 4-70 所示的缺口齿盘传动机构。其两个从动轮的设计方案，使用“接力”传动方式完成对缺口齿盘的 360°圆周驱动。

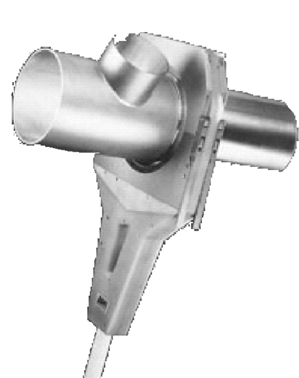

图4-65　体积小的扁平状焊头



图4-66　现场的封闭式自动焊管机



图4-67　现场的封闭式自动焊管机


图4-68　封闭式焊管机施焊管接头质量

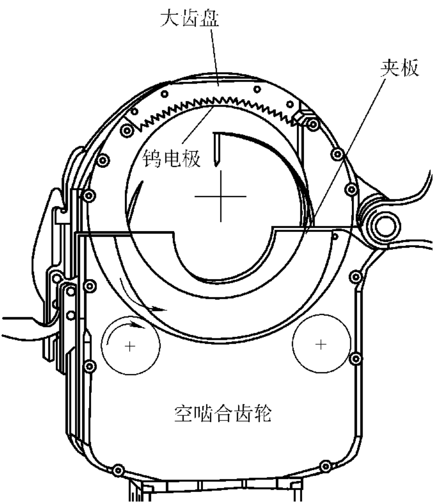


图4-69　缺口大齿盘旋转360°的示意图

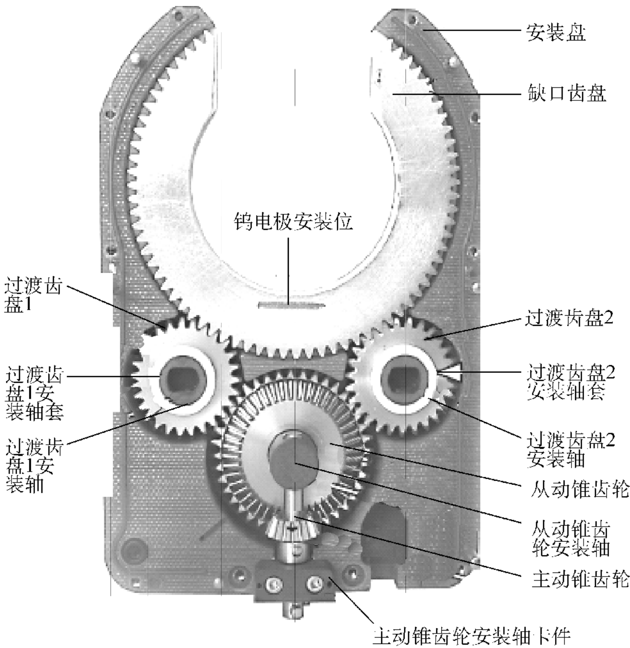


图4-70　封闭式焊管机的传动结构

封闭式焊管机还有一技术关键：即使用电刷来传导焊接电流，将电流传导到旋转的钨棒上。

要点 110　管－板接头自动焊管机的技术要点

除了管－管对接一类的焊管接头形式外，另一类常见的焊管接头形式为管－板接头（图 4-71），图 4-71 中是管伸出的结构；自动管－板接头焊机主要适用于平齐端板与接管的接头形式。

对管与板平齐、管内缩的接头形式结构（图 4-72），自动管－板接头焊机一般也适用；这类接头多用在利用管束进行流体热交换的各种换热器中。

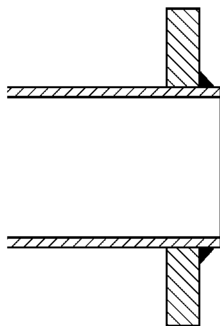


图 4-71　一种典型的管板接头形式

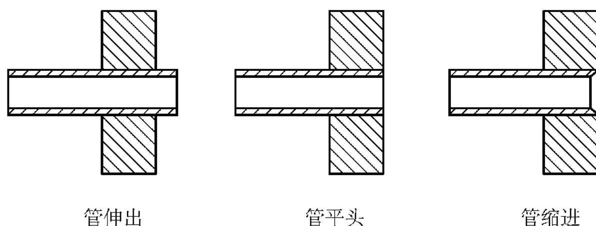


图 4-72　管－板焊的接头形式

各种换热器内芯结构件都是工作在高温、大温度梯度和高压力的环境下，无疑对这类焊缝的焊接质量要求很高。近年来各种化工换热器、核动力蒸汽发生器的内芯结构件都必定采用管－板接头自动焊管机施焊（图 4-73），而管－板自动焊管机的优良焊接质量也决定了在现代管－板接头结构中，管－板自动焊管机完全取代了手工焊管。

自动管－板接头焊机结构特点：

1）焊头定位方式。由于管－板接头的管子排列一般为三角、棱形规则形式（图 4-74），这就决定了现流行的管－板接头管焊机的焊头均以被焊管的管孔为定位中心，电动机带动环形齿轮围绕定位中心转动。

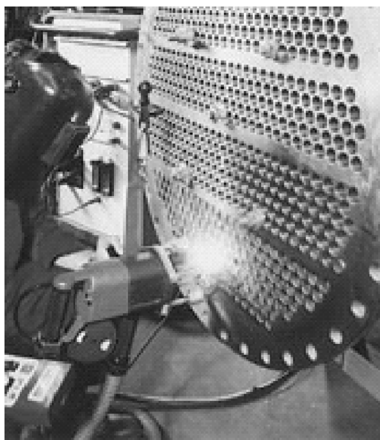


图 4-73　换热器的管－板接头自动焊

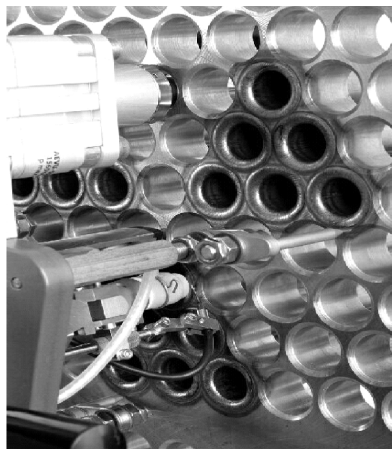


图 4-74　管－板结构管子的规则排列

机头采用三点平面支撑方式支靠在管－板结构的端面。

管－板接头焊管机采用芯杆插入管内、杆端碟形弹性定位器（图4-75）的管孔定位方法：

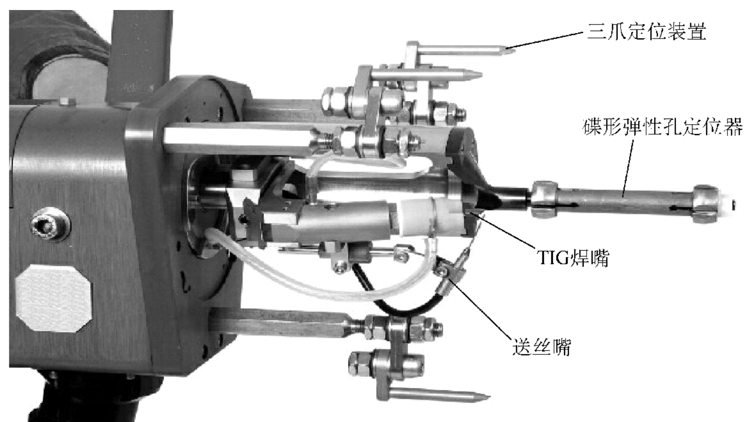


图4-75 一种典型管－板自动焊管机

碟形弹簧（图4-76）带动拉杆，拉杆端头圆锥面撑开弹性定位器内孔，将弹性定位器牢牢的胀在管子里。

通过机头尾部的气缸推动拉杆，弹性定位器便可松开，因此属于一种操作方便、装卸快捷的新型定位方法。

根据管径不同，机头可配备各种规格的芯杆定位器来满足不同管径的要求，定位一次完成后可重复焊接，连续工作。

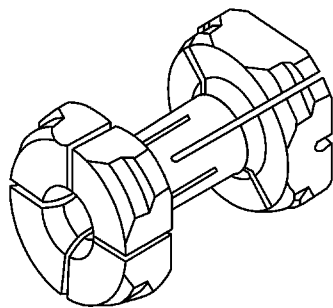


图4-76 碟形弹性孔定位器的结构

2）机头由电动机驱动焊头旋转部分装置、定位装置、送丝机构、弧长控制部分、气体保护系统、水冷系统等部分组成。

一些新型管板机头设计，将送丝机安装在机头前端随焊矩一起旋转的转盘上，这就不存在焊丝缠绕问题，相比而言还缩短了送丝机到焊接区的距离，焊丝从送丝机到送丝支架只需一根透明的聚四氟乙烯管即可，聚四氟乙烯管更换简单，焊丝无需校直轮，穿丝简易化，送丝阻力减小，回抽焊丝也更容易，整个送丝系统的损坏几率减小。

3）在焊头内部，装有弧长控制装置，即电弧AVC控制，通过步进电动机带动焊枪沿焊缝位置进行电弧电压信号反馈，保证弧长高度的稳定和焊接质量的可靠。

焊头旋转系统管－板焊机头一般采用光电码盘计数、直流电动机调速方式。在电动机输出轴与主动齿轮的联接上，有些采用了安全离合器取代销钉连接。

4）焊枪一般采用水冷TIG焊枪的标准结构形式，如图4-77所示。对焊枪还要求更换或调整钨极方便、快捷。钨极导电夹的设计要求可选用不同直径的钨棒。陶瓷喷嘴和分流器均用标准结构件，更新方便。

5）自动管－板焊机焊出的焊缝具有规则的鱼鳞纹外观（图4-78）和良好的内在质量，因此，在很多重要的管－板结构中，完全取代了焊条电弧焊。

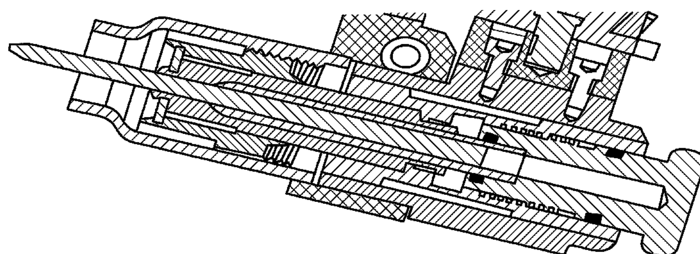


图 4-77　水冷焊枪的结构示意图

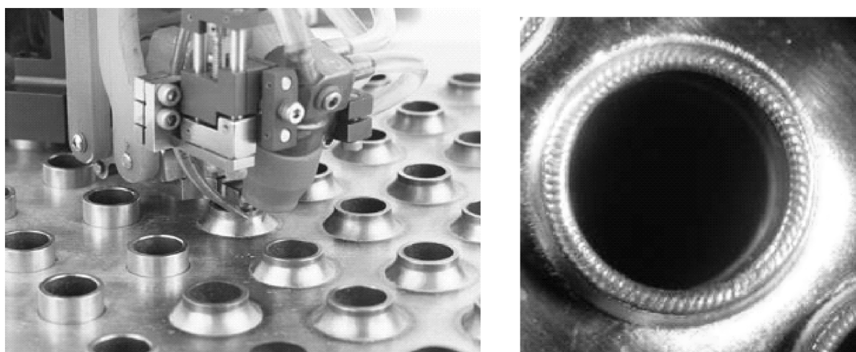


图 4-78　管 – 板自动焊管机的焊接质量

第 5 章　等离子弧焊接与切割

5.1　等离子弧焊接与切割工艺要点

要点 111　穿透型等离子弧焊板厚不能超过一定限度

利用等离子弧能量密度大和等离子流作用力强的特点（图 5-1），可以产生一个贯穿焊件的小孔将焊件完全穿透。

小孔效应只有在足够的能量密度条件下才能形成。

板厚增加和所需能量密度成比例。由于等离子弧能量密度的提高有一定限度，因此穿透型等离子弧焊只能在有限板厚内进行（图 5-2）。

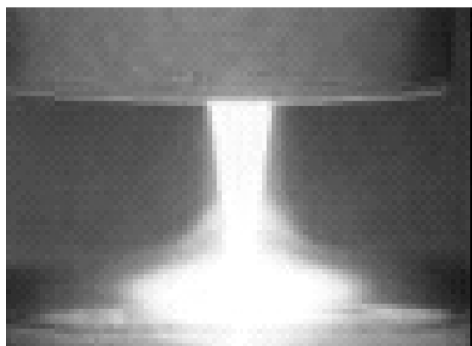


图 5-1　等离子焰流的形态

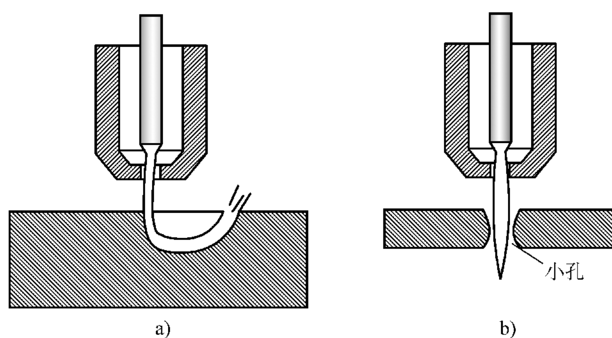


图 5-2　穿透型等离子弧焊示意图
a）钢板太厚不能穿透　b）钢板厚度适当可完全穿透

要点 112　焊接速度太快不能形成小孔效应

稳定的小孔焊接过程是焊缝完全熔透的标志。为了形成小孔效应，焊接电流、离子气流量和焊速三个参数应保持一定的匹配关系。在一定条件下，焊接速度增加，焊接热输入减少，小孔直径随之减小，最后消失（图 5-3）；小孔消失后，等离子弧明显向后偏离，将液体金属上翻，引起焊缝两侧咬边和气孔，甚至会形成贯穿焊缝的长气孔。

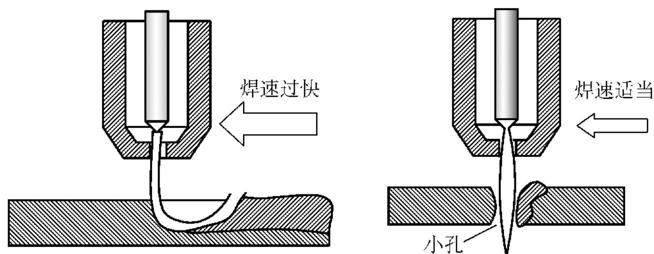


图 5-3　小孔焊接速度不宜过快

要点 113　焊接电流过大会使熔池金属坠落

焊接电流是根据板厚或熔透要求来选定的。在一定条件下，焊接电流增加时，小孔直径增加，等离子弧的穿透能力增加。电流过大，会因小孔直径过大而使熔池金属坠落。为获得稳定的小孔焊接过程，焊接电流应限制在某一个合适的范围内，而这个范围与离子气的流量有关（图 5-4）。

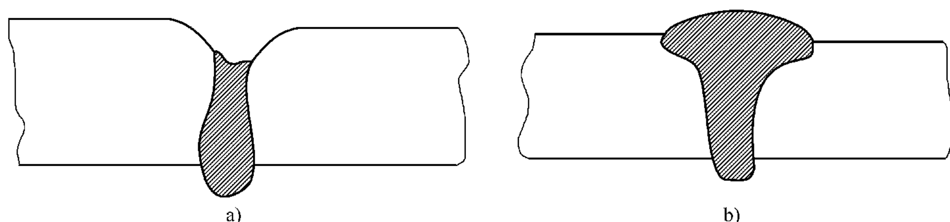


图 5-4　焊接电流过大造成熔池金属坠落

a）电流过大　b）电流适当

要点 114　较薄焊件一般不用穿透型等离子弧焊接

穿透型等离子弧焊接的熔池是由表面张力支撑的。当焊件厚度较薄时（0.05 ~ 1.6mm），小孔周围的液体流向表面，表面张力不能使小孔消除。因此通常不用穿透型焊接而采用熔透型焊接。熔透型焊接薄板常用的接头以卷边形式为佳（图 5-5）。

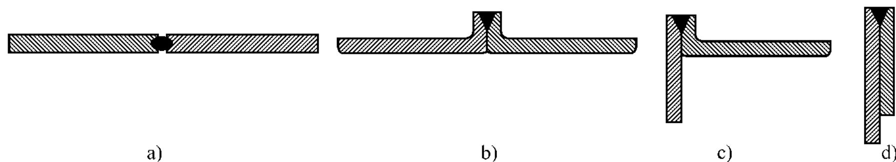


图 5-5　薄板等离子弧焊接头形式

a）薄板对接　b）卷边对接　c）卷边角接　d）端边焊

要点 115　等离子弧焊起始和终止不得在焊缝上留下孔洞

穿透型等离子弧焊在建立小孔和终止的地方容易产生气孔、下陷等缺陷。对于厚度大于 3mm 的焊件，由于焊接电流较大，此种情况更为严重。为了避免在焊缝上留下孔洞，对于纵缝，可采用引弧板来解决这个问题；对于闭合环缝，必须采用焊接电流、离子气流量斜率递增（起弧）和递减（熄弧）控制法（图 5-6），在焊件上直接起弧和熄弧。

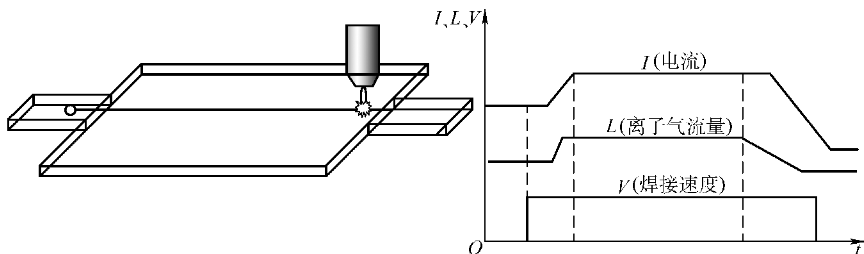


图 5-6　等离子弧焊起弧点和熄弧点的处置

要点116　厚板和低熔点、低沸点金属不宜采用等离子弧焊

等离子弧焊可以焊接碳钢、不锈钢、铜合金、镍合金以及钛合金等。但当金属厚度超过8~9mm以后，很难实现一次焊透，等离子弧焊的一次焊透的板厚限度见表5-1，而且从费用上考虑也不甚合算。对于质量要求较高的厚板焊缝，可用等离子弧焊封底，然后采用熔敷效率更高、更经济的焊接方法完成各层焊缝。

表5-1　等离子弧焊的一次焊透的板厚限度

材　　料	板厚限度/mm
不锈钢	8
钛及钛合金	12
镍及镍合金	6
低合金钢	7
低碳钢	8

熔点和沸点低的金属，如铅和锌，也不适合采用等离子弧焊。

要点117　等离子弧焊件的装配尺寸不得超过允许公差

等离子弧焊件的边缘必须紧密接触。对于厚度不大于0.8mm的薄弱焊件采用卷边的方法，能够使对接接头夹紧的公差范围增大，但也不得超过允许值（允许公差可在相关焊接手册中查到），难于保持允许公差时必须填充金属。

要点118　等离子弧焊所用混合气体成分和配比应有一定限度

等离子弧焊时，应用最广的离子气和保护气体是氩气。为了增加焊件热量、改善接头质量，针对不同的金属，可在氩气中分别加入H_2、He、CO_2等，组成混合气体。但所加气体及其配比（表5-2）应根据焊接电流的大小和所焊金属材料的不同来确定，不能超过一定限度，否则势必增加焊缝气孔、裂纹或使熔池下塌和飞溅增加。

表5-2　等离子弧焊所用混合气体成分和配比

金属种类	等离子气	保护气（体积分数）
碳钢及低合金钢	Ar	Ar，Ar+5%~20%的CO_2
不锈钢及镍合金		Ar，Ar+5%~7.5%的H_2
铜		Ar，He+25%~50%的Ar
易氧化金属		Ar，He，Ar+He
钛及钛合金		Ar，Ar+50%~75%的He

要点119　掌握等离子弧切割的特点

等离子弧切割（图5-7）是一种热切割，是以高温高速等离子弧焰流（图5-8）为热源、以压缩空气或其他切割气体为工作气体，将被切割的金属局部熔化，并同时用高速气流将已熔化的金属吹走（图5-9、图5-10）形成狭窄切缝。

等离子弧柱的温度极高，可达10000~30000℃，远远超过了所有金属或非金属材料的熔点，因此等离子弧的切割过程不是依靠氧化反应，而是靠熔化来切割材料的；因而其切割的适用范围比氧切割（气体火焰切割）大得多，几乎能切割所有的金属。

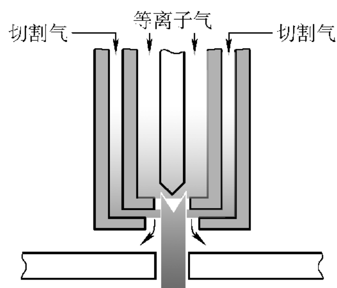


图 5-7　等离子弧切割原理图

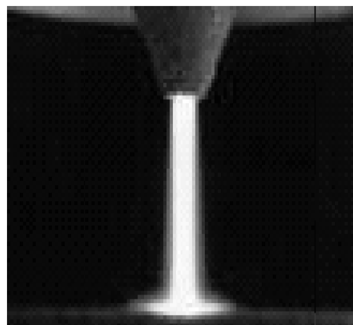


图 5-8　等离子弧焰流

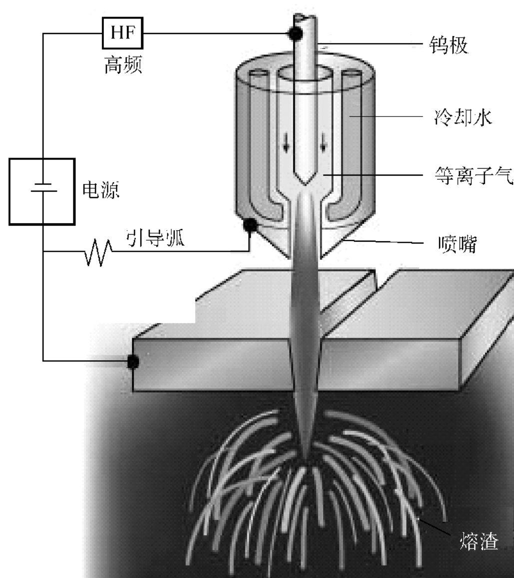


图 5-9　等离子弧的产生

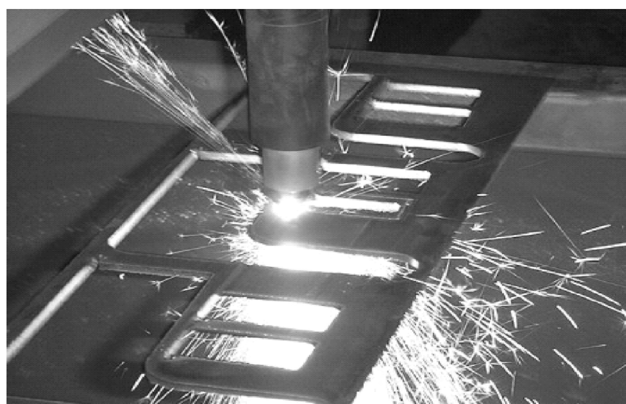


图 5-10　等离子弧切割实况

由于等离子弧（即等离子弧柱）的挺度（图 5-11），是所有类型电弧中最好的，加之弧柱高温和等离子弧高速的特点，使其切口窄（中薄板材），切割面的质量好、切割速度

快、热影响区小、工件变形小。因此在切割不锈钢、钛合金及有色金属材料时，选用等离子弧切割不但能达到满意的切割质量，还能获得比气体火焰切割增加数倍的经济效益。因此等离子弧切割广泛应用于中厚板不锈钢材料切割（图5-12）。

图5-13所示中，美国航空母舰（CVN21）的甲板料为70mm，选择了ESAB公司的数控等离子弧切割机。

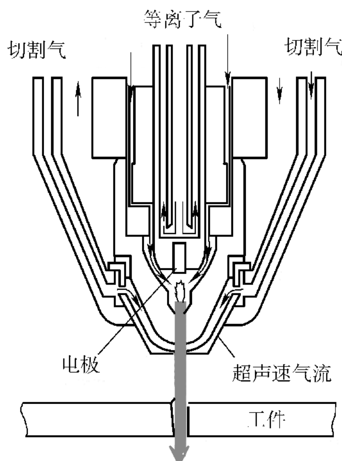


图5-11　等离子弧的挺度



图5-12　等离子弧切割不锈钢

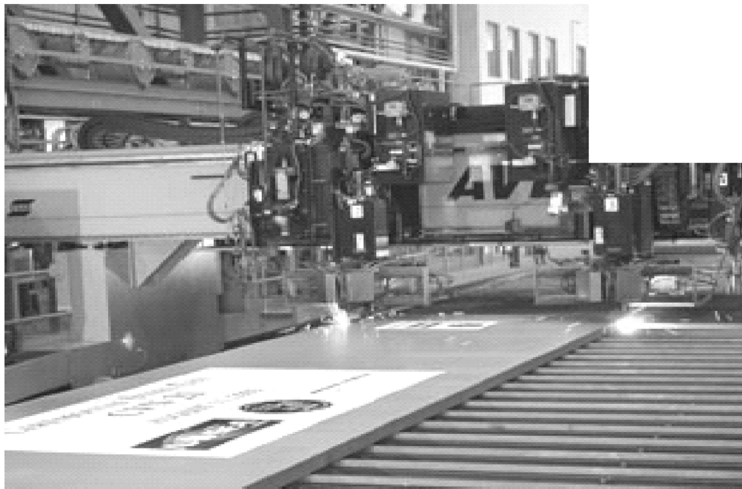


图5-13　美航母CVN21甲板料（70mm）的数控等离子弧切割机（ESAB）

5.2　等离子弧焊接和切割设备选择与使用要点

要点120　等离子弧焊（割）炬喷嘴孔径不宜过大

等离子弧是一种压缩电弧，其压缩作用来自于喷嘴的机械作用、热收缩和磁收缩等。通常焊（割）炬的喷嘴孔径应根据电流和离子气流量来确定。在一定条件下，喷嘴的孔径越大，对等离子弧的压缩作用越小。如果喷嘴孔径过大，就会丧失压缩作用，等离子弧也就建

立不起来。通常喷嘴的孔道比 l/d 应大于3，如图5-14所示。

要点121　等离子弧焊时不应存在双弧

正常的转移型等离子弧应该稳定“燃烧”在钨极和工件之间，当另有电弧“燃烧”于钨极—喷嘴—工件之间时，即形成双弧，如图5-15所示。此时主弧电流将降低，正常的焊接或切割过程被破坏，严重时将导致喷嘴烧毁或离子弧过程中断。

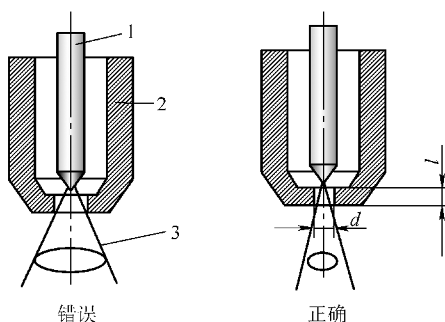


图5-14　等离子弧喷嘴的孔道比

1—钨棒　2—喷嘴　3—等离子弧及扩散角

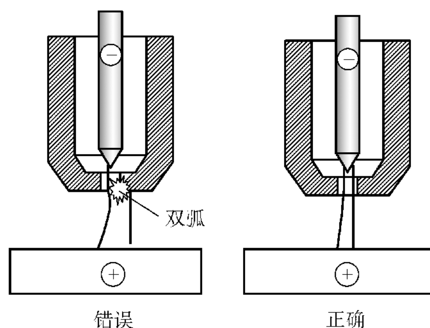


图5-15　等离子弧焊喷嘴内的“双弧”

要点122　等离子弧焊接和切割电源不能通用

等离子弧焊接和切割电源一般都采用陡降外特性直流电源。

但切割用电源输出的空载电压一般大于150V，压缩空气等离子弧切割电源空载电压可高达600V。

等离子弧焊接电源输出的空载电压一般在80V左右，两者不能通用（图5-16）。

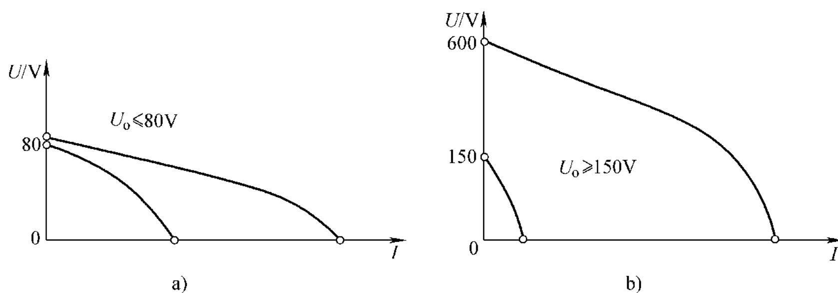


图5-16　等离子弧焊接与切割的电源外特性

a）焊接电源外特性　b）切割电源外特性

要点123　不导电的工件不能建立转移电弧

产生于钨极和工件之间的等离子弧称为转移电弧，转移电弧是由非转移电弧（产生于钨极和喷嘴间的电弧）过渡转移产生的。当工件不导电（或不通电）时，转移电弧不能产生。因此非金属加工只能利用非转移电弧形成的等离子弧，如图5-17所示。

要点124　微束等离子弧焊不宜采用单电源供电

大电流等离子弧都采用转移电弧，在转移电弧产生后非转移电弧随即切断，因此转移电弧和非转移电弧可合用一个电源。

微束等离子弧焊是采用联合型弧，由于焊接过程中需要同时保持非转移电弧和转移电弧，故要采用两个独立电源，如图5-18所示。

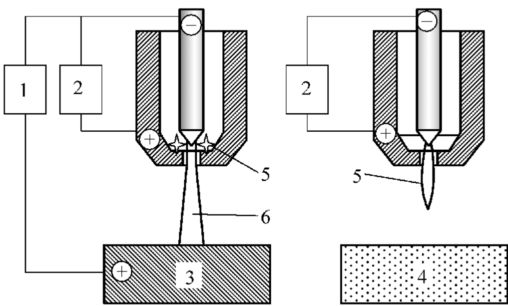


图5-17　转移电弧与非转移电弧

1—转移电弧电源　2—非转移电弧电源　3—金属
4—非金属　5—非转移电弧　6—转移电弧

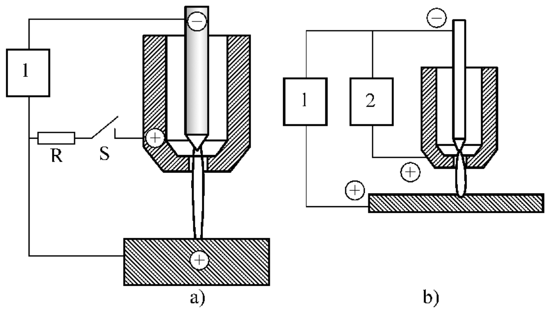


图5-18　等离子弧焊的供电形式

a）大电流等离子弧焊　b）微束等离子弧焊
1—焊接电源　2—维弧电源　R—限流电阻　S—转换开关

要点125　大电流工作不宜采用小锥角电极

为了便于引弧和增加电弧的稳定性，电极端部可磨成20°～60°的夹角。小锥角电极适用于小电流和微束等离子弧焊接。

当等离子弧工作于大电流范围时，为了减缓电极烧损，应将电极端头磨成圆台形、圆台尖锥形、锥球形或球形，如图5-19所示。

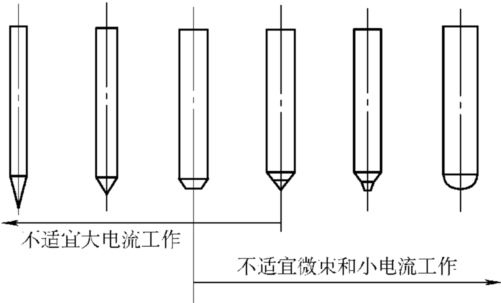


图5-19　等离子弧焊用的电极形状

要点126　大功率等离子弧不宜采用普通喷嘴和电极

由于结构不合理或材料选用不当，在大功率等离子弧工作时，容易造成喷嘴损坏和电极烧损。为了提高喷嘴和电极的使用寿命，可用钨、钼等高熔点材料做喷嘴内壁镶套；直径大于5mm的电极也应采用镶嵌式直接水冷结构，如图5-20所示。

要点127　电极四周分布的高频火花不得小于75%～80%

电极与喷嘴的同心度可根据电极和喷嘴之间的高频火花在电极四周的分布情况来检查。一般焊接时要求高频火花布满圆周75%～80%以上，如图5-21所示。小于这个比例，将会导致产生双弧并影响焊缝成形和质量。

要点128　单孔圆柱形喷嘴不利于提高加工效率和加工质量

单孔圆柱形喷嘴结构简单，应用较广，但在许用电流值、加工效率和加工质量方面不如多孔型和收敛扩散型喷嘴。例如，收敛扩散型喷嘴适用

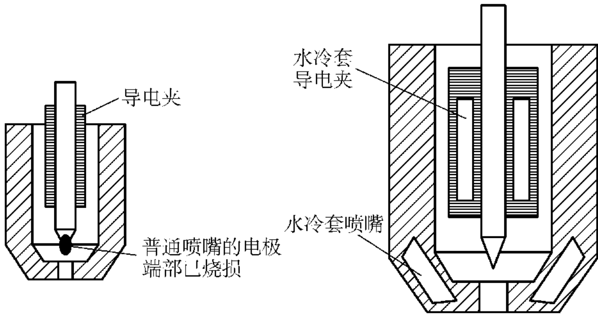


图5-20　大功率等离子弧焊用的喷嘴

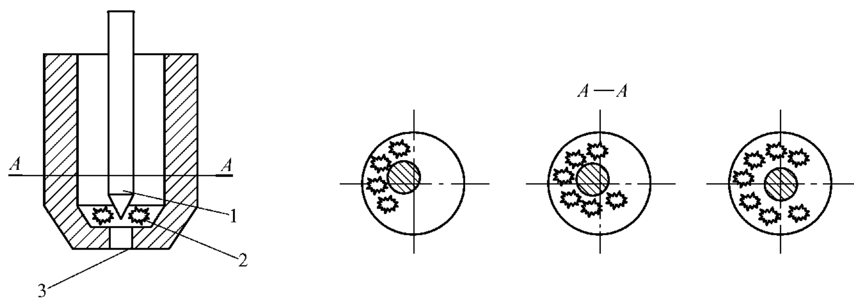


图 5-21　用高频火花分布检查喷嘴的同心度

1—钨极　2—高频火花　3—喷嘴口

于大电流、厚板焊接；三孔型喷嘴可以提高焊接速度和减少焊缝热影响区宽度；多孔型喷嘴可使等离子弧在喷嘴外再次压缩，提高等离子弧的挺度并提高加工质量，如图 5-22 所示。

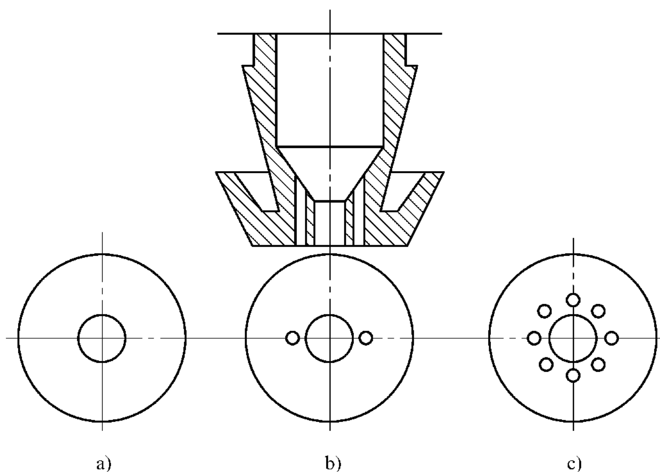


图 5-22　三种喷嘴的结构

a）圆柱单孔型　b）圆柱双孔型　c）圆柱多孔型

要点 129　使用旋涡气流时电极室直径不宜太小

等离子弧的工作气体送入等离子枪中，可以是旋涡气流，也可以是沿电极轴向流动的无旋转气流（图 5-23）。使用旋涡气流时热收缩效应较强，等离子弧压略有升高，等离子弧的稳定性增强。不过要造成强烈的旋涡气流，必须将电极室长度做得较短，而直径相应要大。当电极室直径较小时，很难达到理想效果。

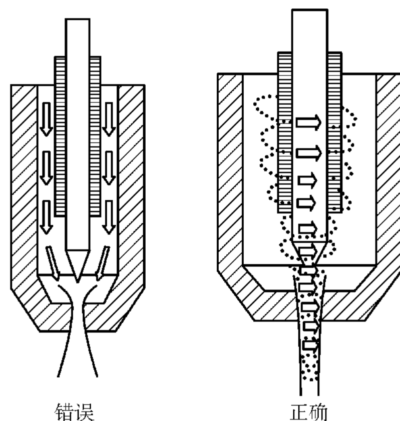


图 5-23　形成旋涡气流的电极室结构

要点 130　空气等离子弧切割不宜采用单层气流割枪

单层气流空气等离子割枪以压缩空气作为工作气

体和排除熔化金属的气流。电极直接与空气接触，遭受到强烈的氧化腐蚀，因而使用寿命极短。采用复合式割枪（图5-24），即内喷嘴通入惰性气体（Ar），外喷嘴通入压缩空气，避免电极与空气直接接触，可以提高电极的使用寿命。

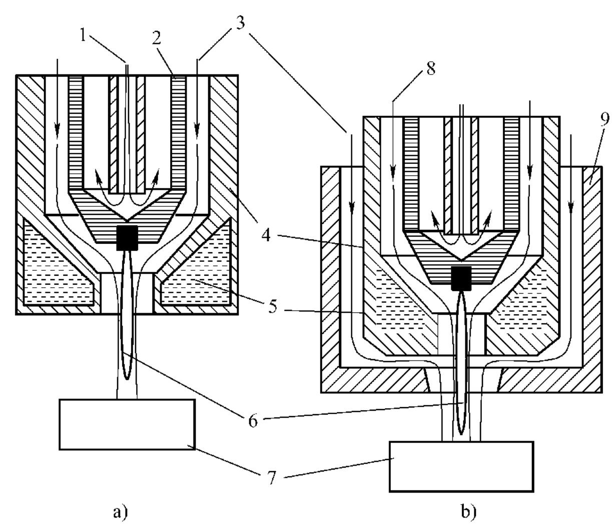


图5-24 空气等离子切割喷嘴
a）单层气流割枪 b）复合式割枪
1—电极冷却水 2—电极 3—压缩空气 4—喷嘴 5—冷却水
6—电弧 7—工件 8—工作气体（Ar） 9—外喷嘴

要点131 熔化极等离子弧焊不能取消非熔化极

为了提高熔化极等离子弧的工作稳定性，在熔化极之外必须保留非熔化极，如图5-25所示。其中非熔化极采用下降特性电源，熔化极选用平特性电源。通过焊丝的电流决定着熔滴过渡的形式，当电流小于临界电流时为大滴过渡，大于临界电流时成旋转射流过渡。前者适用于厚板深熔焊接或薄板高速焊接，后者适用于堆焊。

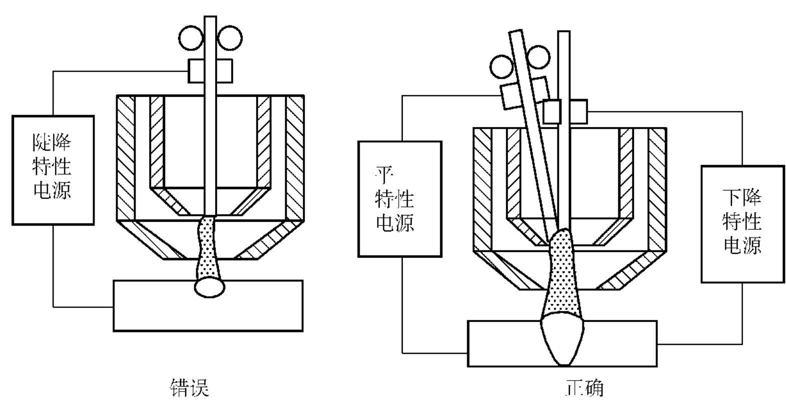


图5-25 熔化极等离子弧焊的结构示意图

要点 132　了解等离子弧切割设备的其他功能

等离子弧切割也可用于 V 形焊接坡口的加工，如图 5-26 所示。

现代的数控等离子弧切割机，也多采用图 5-27 所示的龙门架式 x、y 坐标驱动机构。

等离子弧切割枪还可安装于工业机器人的手臂上，构成等离子弧切割机器人（图 5-28），成为一种更为灵活机动的自动化等离子弧切割设备。

等离子弧切割的一个主要缺点是切割时产生的粉尘大，对于操作者的身体健康有一定影响，为此对于大量应用等离子弧切割场合，宜采用水下等离子弧切割工艺（图 5-27）。



图 5-26　等离子枪斜切坡口



图 5-27　水下等离子弧切割（ALENGER 公司）



图 5-28　等离子弧切割机器人

第 6 章　激光焊接与切割

6.1　激光焊接与切割工艺要点

要点 133　掌握激光焊接的机理

激光焊接是将高强度的激光束辐射至金属表面，通过激光与金属的相互作用，使金属熔化形成焊缝（图 6-1）。在激光与金属的相互作用过程中，金属熔化仅为其中一种物理现象。有时光能并非主要转化为金属熔化，而以其他形式表现出来，如汽化、等离子体形成等。然而，要实现良好的熔融焊接，必须使金属的熔化成为能量转换主要形式。激光焊接时，激光光束与金属相互作用中，会产生各种物理现象，而通过控制激光参数，可使激光能量绝大部分转化为金属熔化的能量，达到焊接的目的。

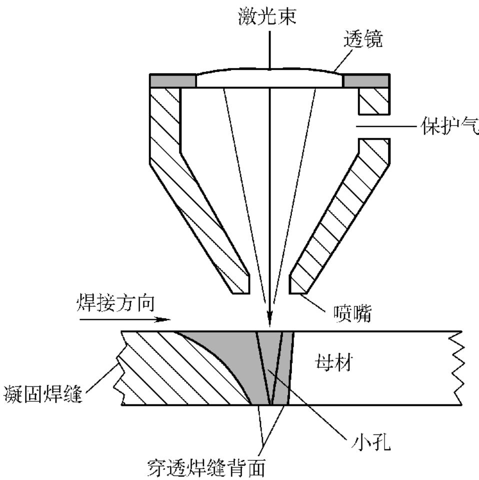


图 6-1　激光焊接原理示意图

激光光束的功率，对激光焊接过程起决定性作用：

当用短时（亦即脉冲形式）的激光光束照射工件表面时，激光辐射加热工件表面，表面热量通过热传导向内部扩散，通过控制激光脉冲的宽度、能量、峰值功率和重复频率等参数，使工件熔化，形成特定的熔池。

由于其独特的熔深较浅的特点，已成功应用于微、小型零件的精密焊接中。

而在足够高的功率密度的连续激光光束照射下，材料会因迅速蒸发而形成小孔（图 6-2）。这个充满蒸汽的小孔犹如一个黑体，几乎全部吸收入射光线的能量，孔腔内平衡温度达 25000℃左右。

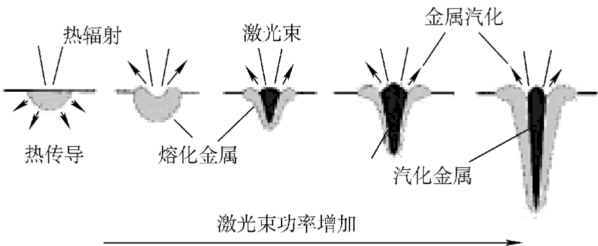


图 6-2　激光深熔焊“小孔”形成机理

热量从这个高温孔腔壁传递出来，使包围着这个孔腔的金属熔化。小孔内充满着光束照射下壁体材料连续蒸发产生的高温蒸汽，小孔四壁包围着熔融金属，液态金属四周即围着固体材料。壁层表面张力与孔腔内连续产生的蒸汽压力保持着动态平衡。

光束不断进入小孔，小孔外金属液在连续流动，随着光束移动，小孔始终处于流动的稳定态。就是说，小孔和围着孔壁的熔融金属随着前导光束前进速度向前移动，熔融金属填充着小孔移开后留下的空隙并随之冷凝，于是形成焊缝。

图 6-3 是用激光深熔焊得到的焊缝。

激光深熔焊通常选用连续波（CW）纵向快流大功率 CO_2 激光器、大功率 NdYAG 激光器。

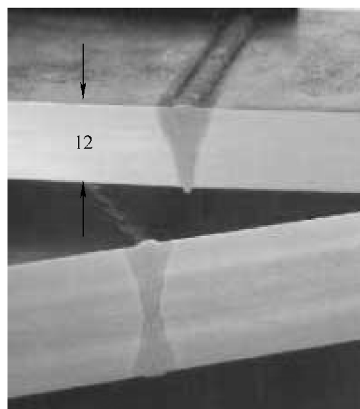


图 6-3　激光深熔焊焊缝

要点 134　了解激光焊接的优点

1）激光束功率密度高，焊缝熔深大（图 6-4、图 6-5、图 6-6），速度快，效率高。

从图 6-4 ~ 图 6-6 中还可看出：激光焊缝组织均匀、晶粒很小、气孔少、夹杂缺陷少，在力学性能、耐蚀性能和电磁学性能上优于常规焊接方法。

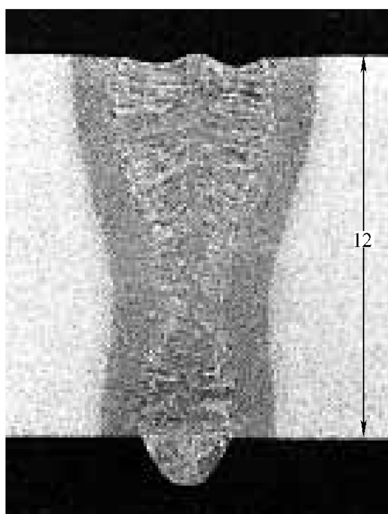


图 6-4　激光深熔焊焊缝之一

激光器：9kW　Nd : YAG

材料 ：C-Mn 合金钢



图 6-5　激光深熔焊焊缝之二

激光器：7kW　Nd : YAG

材料：Ti 合金钢

2）激光焊缝窄，热影响区小，焊件变形很小，可实现精密焊接（图 6-7、图 6-8）；激光焊接具有熔池净化效应，能纯净焊缝金属，适用于相同或不同材质、厚度的金属间的焊接，对高熔点、高反射率、高导热率和物理特性相差很大的金属焊接特别有利。

激光束可以被聚得很细，光斑能量密度很高，几乎可以汽化所有的材料，有广泛的适用性。

3）激光功率易控，实现自动化方便，特别是有的激光器，可利用光纤传导激光，因此可方便地安装

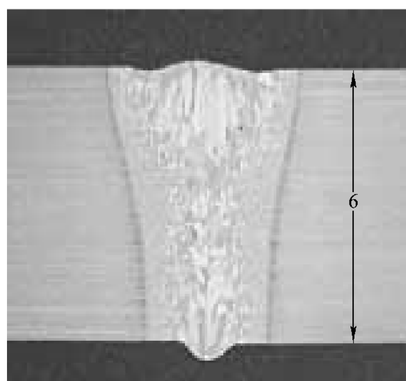


图 6-6　Ti 合金板 Nd : YAG 焊



图 6-7 精密激光焊接与监测系统



图 6-8 不锈钢焊件激光精密焊接

于工业机器人的手上，构成激光焊接、切割类型的机器人；国外光纤传导的大功率Nd：YAG激光器的功率已达 3000W 的水平，并应用于汽车车身部件的机器人焊接与切割（见图 6-9、图 6-10）。



图 6-9 光纤传导的激光加工机器人（MOTOMAN）

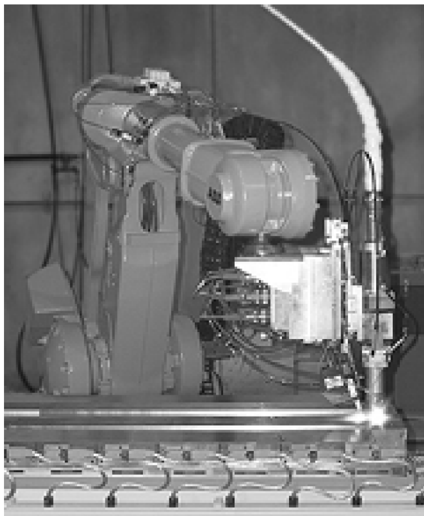


图 6-10 光纤传导的激光焊接机器人（ABB）

但光纤只能对 YAG、Nd：YAG 固体激光器（波长都是 1.06μm）和某些半导体激光器的激光束进行传导。

4）在机械零部件制造业中，有大量的或结构复杂，或同一焊件所用材料不同，或对不同部位有不同的力学性能要求的焊件，如用传统的热加工（铸、锻）工艺方法制造，将是十分困难的。但使用激光拼装焊接后，可充分发挥包括冷加工在内的所有工艺制造方法各自的优势。例如图 6-11 所示中的焊件，凡是易磨损部分用耐磨钢种而承载部分用强度高、韧性好的钢种。分别加工后，再用激光拼焊成不用后续加工的整件；图 6-12 所示为不同材料节的轴类焊件环缝激光焊。



图6-11　激光焊接拼装的复杂焊件



图6-12　不同材料节的轴类焊件环缝激光焊

5）激光可与电弧复合组成加工系统（图6-13）。激光－电弧复合主要是激光与钨极氩弧（TIG）、等离子弧（Plasma）以及MAG（Metal Active Gas）等电弧焊复合。通过激光与电弧的相互影响，可克服每一种方法自身的不足，进而产生良好的复合效应。

Laser－TIG复合可显著增加焊速，约为TIG焊接时的2倍；钨极烧损也大大减小，寿命增加；坡口夹角亦减小，焊缝面积与激光焊时相近。

MAG焊成本低，使用填丝，适用性强，缺点是熔深浅、焊速低、焊件受热大。激光焊可形成深而窄的焊缝，焊速高、热输入低，但投资高，对焊件制备精度要求高，对铝等材料的适应性差。Laser－MAG的复合效应表现在：电弧增加了对间隙的桥接性（Ability of gap

bridging）（图6-14），其原因有二：一是可填充焊丝，二是电弧加热范围较宽；电弧功率决定焊缝顶部宽度。

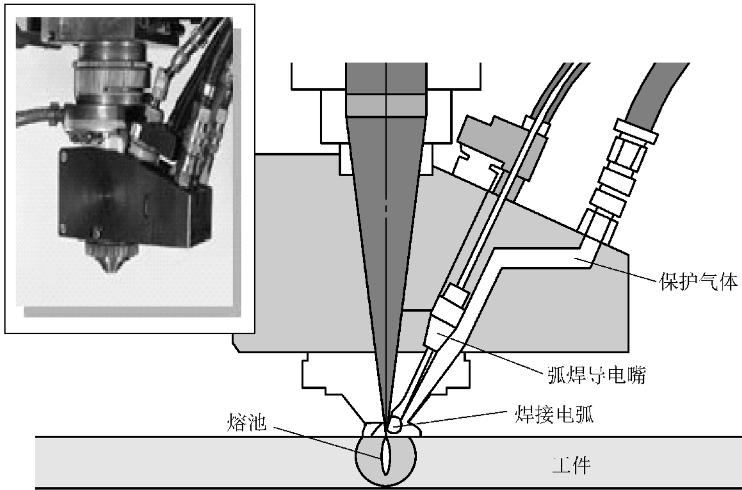


图6-13 激光－MAG复合焊接工艺示意图

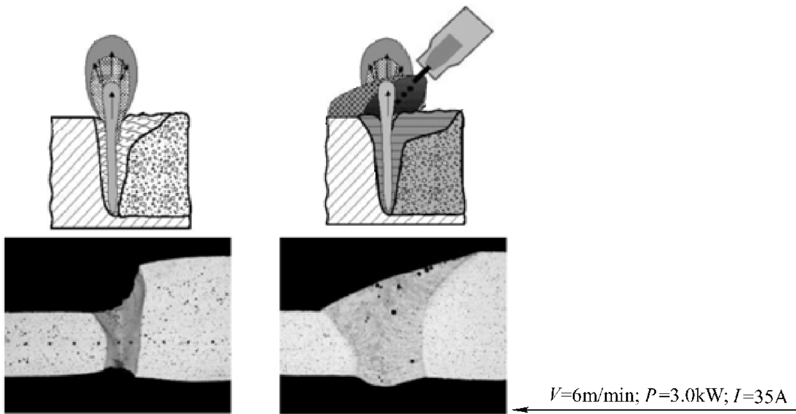


图6-14 激光-电弧复合（Laser Arc Hybrid）加工的桥接性

要点135 激光深熔焊不宜过分降低焊接速度

深熔焊接时，焊接熔深随焊接速度的下降而增加，如图6-15所示。但若焊速太低，使输入焊缝的热输入过大，又会使焊接区温度升高，等离子体浓度增加，最终导致激光被等离子体屏蔽，小孔消失，焊接过程受到破坏。因此在一定功率条件下，存在一维持深熔焊接的最低焊接速度，过分降低焊接速度，焊接熔深不仅不再增加，反而会使材料过度熔化而产生烧损或焊穿。

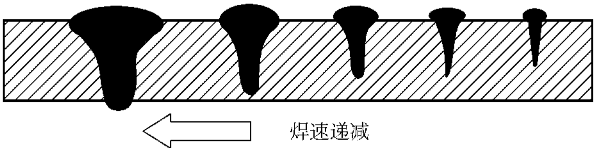


图6-15 焊接速度与焊缝成形的关系

要点 136　激光焊点表面温度不宜超过材料沸点

在激光焊接过程中，为防止焊点金属蒸发和焊缝烧穿，应严格控制激光输入能量，如图 6-16 所示，使得在整个焊接过程中，焊点的温度始终保持在高于材料熔点而低于材料沸点之间。对大多数金属而言，焊接功率密度范围约为 $10^4 \sim 10^7 W/cm^2$。

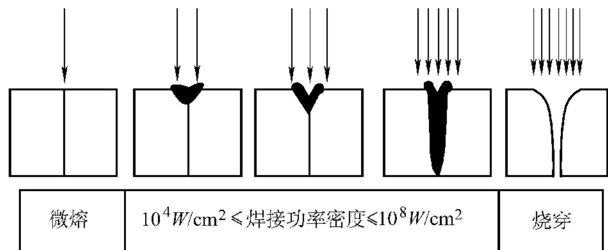


图 6-16　激光输入能量与焊缝成形的关系

要点 137　在加工范围内光程长度不宜变化太大

在一定条件下，焦斑直径 d 与聚焦镜处的光束直径 D 成反比。当光束发散角较大时，光束直径在光程长度（图 6-17）方向上是变化的，因而在整个加工范围内，焦斑功率密度必将随焦斑直径的变化而改变，使加工条件发生变化，其结果对加工质量产生不可忽视的影响。如果在加工范围内，光程长度不变，那么光束直径、焦斑直径也相对稳定，加工质量也就稳定了。

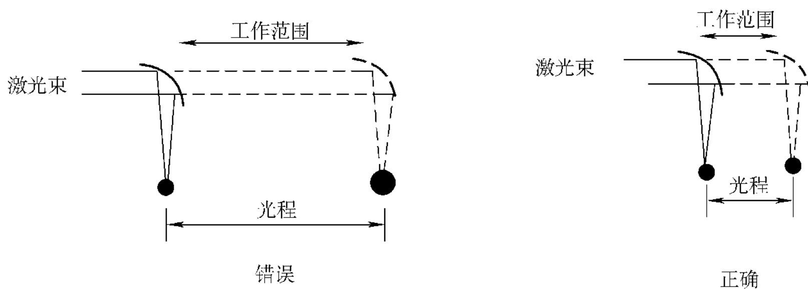


图 6-17　加工范围内光程长度不宜变化太大

要点 138　激光焊接区等离子体的浓度和体积不能太大

当激光功率密度很大时，高温金属蒸汽和气体在高功率密度激光作用下发生离解，形成等离子体（图 6-18）。等离子体吸收部分激光，使金属表面得到激光能量减少，影响焊缝熔深并使焊缝表面增宽。当等离子体浓度（单位体积内含等离子的粒子数量）和体积太大时，激光束会被等离子体屏蔽，因而产生周期振荡。为此，激光焊接过程中，须采取措施抑制等离子体或将其限制在一定范围内。

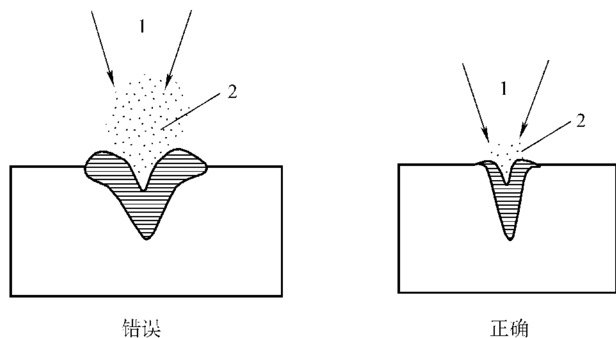


图 6-18　激光焊接区的等离子体示意图

1—激光束　2—等离子云

要点 139　激光脉冲焊接时间不宜大于 500μs

在激光焊接过程中，激光等离子体是在激光持续作用一段时间（约 500μs）以后产生的。因此周期性地切断激光，并使激光辐照时间小于等离子体的形成时间，可以完全消除等离子体。由此看来，为有效抑制等离子体，应采取激光脉冲焊接，且激光脉冲焊接的工作频率应在 2kHz 以上（图 6-19）。

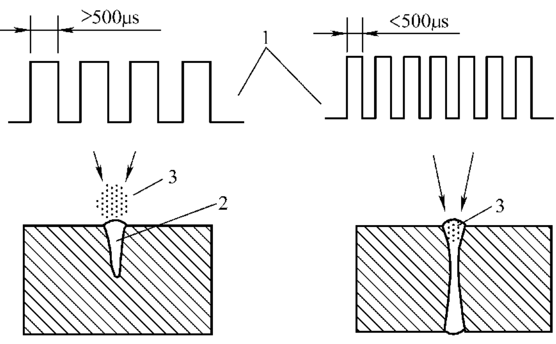


图 6-19　脉冲激光焊的激光脉冲
1—激光电源脉冲波形　2—焊缝断面　3—等离子云

要点 140　激光深熔焊时焊接离焦量不宜太大

离焦量的大小和正负不仅影响焊件表面激光光斑的大小，而且影响光束的入射方向，因而对焊缝的熔深和焊缝形状产生影响（图 6-20）。当离焦量较大时，焊件表面受热面积较大，功率密度较低，此状态属于传热熔化焊，焊缝断面呈上宽下窄的酒杯状。当离焦量减少到某一值后，方能产生小孔效应，而焦斑深入焊件表面一适当距离（1～2mm），才能得到两边平行的理想焊缝。

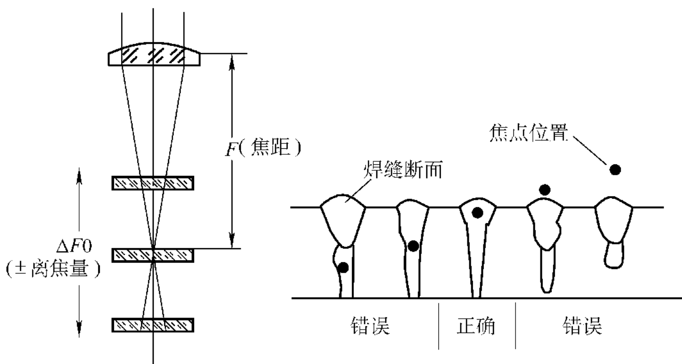


图 6-20　离焦量对焊缝成形的影响

要点 141　激光焊件的拼合间隙不宜过大

为了获得狭而平滑、精细的焊缝，要求接头装配、拼合间隙和接缝准直度应相当地精确，如图 6-21 所示。对于薄板焊接，拼合间隙尤为重要。如果接头间隙超过光斑尺寸，焊接将不能进行，或者会将焊件烧穿。

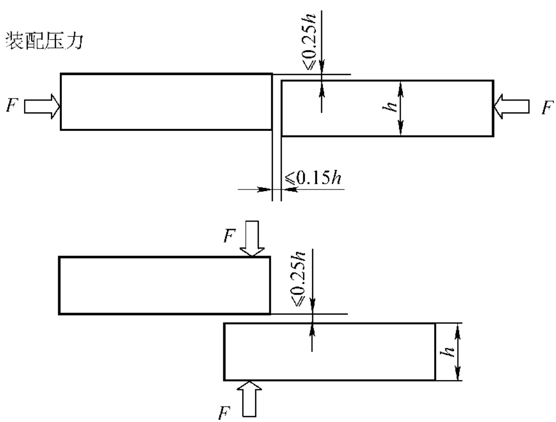


图 6-21　激光焊件的拼合间隙要求

要点 142　焊缝间隙较大时不宜采取自熔焊接

激光焊接虽然特别适宜自熔焊接，但在装配间隙较大时，自熔焊接焊缝将

很不饱满。因此当装配间隙超过板厚的 3% 时，仍需要填充焊丝，如图 6-22 所示。

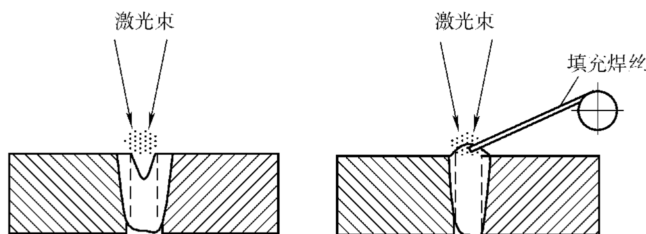


图 6-22　拼合间隙较大要求填充焊丝

要点 143　板材叠焊要求合理设计接头形式

强激光束虽能穿透一定厚度的板材将叠接焊件连接起来，但焊缝熔深浪费较大，不易获得高强接头。利用激光束自然跟踪焊缝间隙产生强化接头的原理，应合理设计接头形式，将激光束直接射入焊缝熔合区，以提高焊缝强度，如图 6-23 所示。

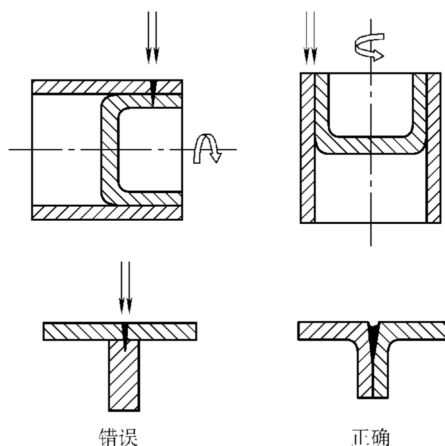


图 6-23　板材叠焊的接头形式

要点 144　薄板焊接不宜采用负离焦

在激光深熔焊时，将光束焦点深入焊件（负离焦），可以获得较大熔深和理想的焊缝成形。若以同样的方式焊接薄件，因材料内部的温度高于材料表面，会在材料内产生空洞或将焊件烧穿，如图 6-24 所示。通常，薄板焊接应采用正离焦量。

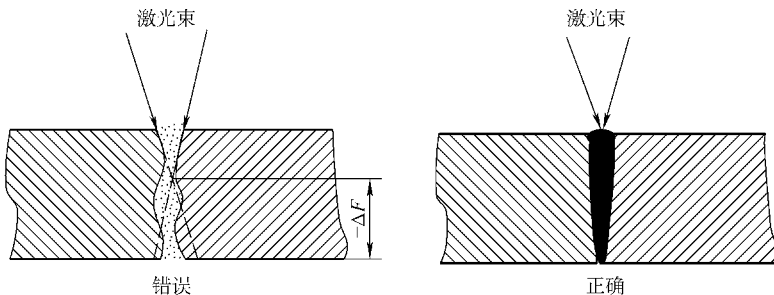


图 6-24　负离焦不适用薄板

要点 145　脉冲缝焊时光斑间距不宜过大

激光脉冲焊的熔池在焊件内呈锥形，脉冲缝焊则是这些锥形焊点的集合。当焊缝的焊点不重叠或重叠不完全时，焊缝不具密封性。因此在气密性缝焊中，应根据锥形体的最小直径选择光斑间距，使密封深度与板厚相当，以达到焊缝气密性要求，如图 6-25 所示。

要点 146　脉冲缝焊不宜采用带前置尖峰波形的激光束

用带有前置尖峰的激光束（图 6-26a）进行脉冲点焊，可以迅速改变金属的表面状态，

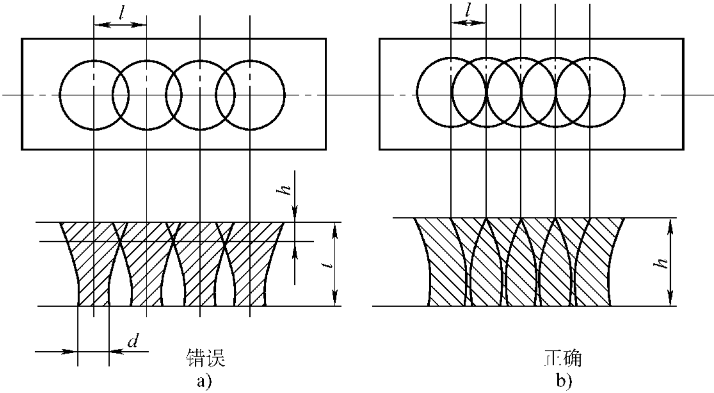


图 6-25　脉冲缝焊时的光斑间距要求

a）$l>d$ 、$h<t$　b）$l\leqslant d$、$h=t$

提高光脉冲能量的利用率。但在高重复频率脉冲缝焊时，处于熔融状态的金属熔池在尖峰激光作用下，容易使熔斑产生不规则的孔洞。因此在激光脉冲缝焊时，应采用光强基本不变的平顶波或衰减波（图 6-26b）。在焊接具有裂纹倾向材料时，还应改善激光波形（图 6-26c），使之具有预热—熔化—保温三阶段功能，提高焊接质量。

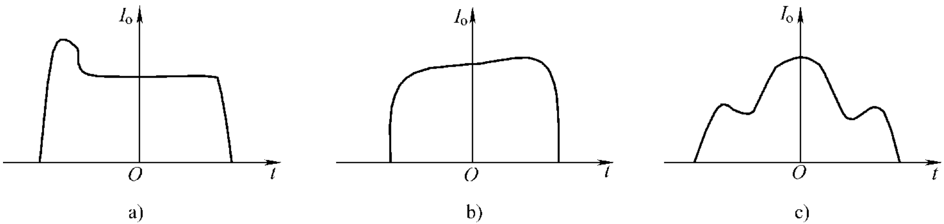


图 6-26　脉冲激光波形

a）带前置尖峰激光波形　b）光强基本不变激光波形　c）三脉动激光波形

要点 147　激光增丝焊接忌用太高的送丝速度

向熔化区填加焊丝，可以改变焊缝体积和性能，并能在焊前准备不理想的状况下获得良好的焊接接头。但是应当适当控制焊丝的送进速度，正确选择焊丝送进方向，避免堵塞焊接小孔，破坏激光深熔焊模式，如图 6-27 所示。

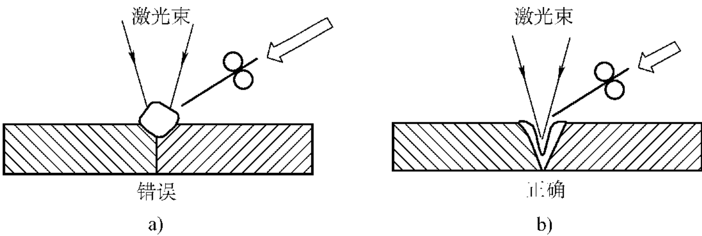


图 6-27　送丝速度对成形的影响

a）送丝速度过大　b）送丝速度适当

要点 148　激光焊接不宜采用斜坡口焊件

激光焊接熔池小，热影响区窄，焊件的收缩和变形量极小，焊缝的深宽比较大。因此激光焊接通常以自熔焊方式，焊件不宜开斜坡口，否则焊缝凹陷难以填补，如图 6-28 所示。

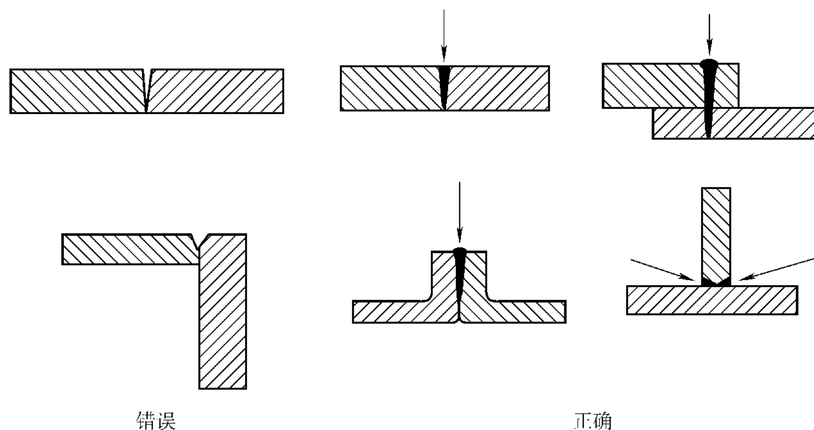


图 6-28　激光深熔焊常见接头

要点 149　保持熔池稳定不宜使用大流量侧吹气体

利用保护气体的动量，将金属蒸汽和光致等离子体从激光光路中吹除，是抑制等离子体的有效方法。特别是侧吹气体以一定角度直接射入深熔焊接的小孔时，保护气体不仅抑制了焊件表面的等离子云，而且对孔内的等离子体和小孔施加影响，可增大熔深（图 6-29）。但这种侧吹气体流量要小，否则金属熔池在强气流下失去平衡，焊接过程难以稳定。

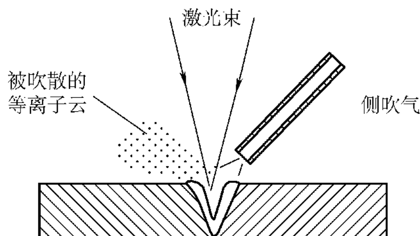


图 6-29　侧吹气的作用

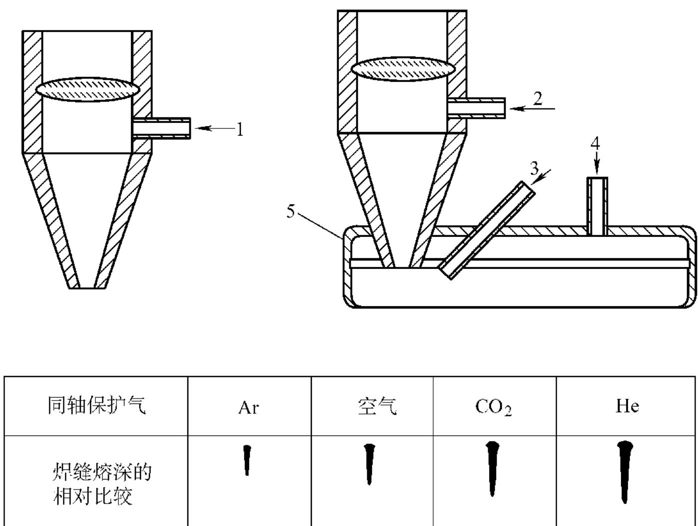
要点 150　激光深熔焊不宜用纯氩气作同轴保护气体

激光焊接中使用的保护气体具有保护焊缝和抑制等离子体等多重作用。在各种保护气体中，氦气（He）具有优良的保护效果，光束穿透性最好，焊接熔深最大；CO_2、N_2 和空气次之；氩气保护效果最差，熔深最小。因此激光深熔焊时，应使用 He – Ar 混合保护气或使用双层喷嘴和拖罩（图 6-30），以不同气体分别对加工区、焊缝区进行保护和侧吹等离子体，以获得最佳的保护效果。

要点 151　高效焊接不宜采用激光熔焊方法

激光熔焊是通过热传导方式将激光能量向焊件内部传输，此时激光能量利用率较低，焊接速度较慢、熔深较浅，不宜焊接厚板焊件（图 6-31）。

激光深熔焊以产生的小孔为特征，进入小孔的激光束通过等离子体和孔壁的多次反射而几乎完全被吸收，能量利用率高，焊缝熔深大、焊速快，是一种高效的焊接方法，适宜厚板焊接和有小孔效应的高速薄板焊接。



同轴保护气	Ar	空气	CO_2	He
焊缝熔深的相对比较				

图 6-30　激光深熔焊的保护气

1—同轴保护气　2—同轴混合保护气（Ar + He）　3—侧吹气（Ar、He）
4—焊缝保护气（Ar）　5—拖罩

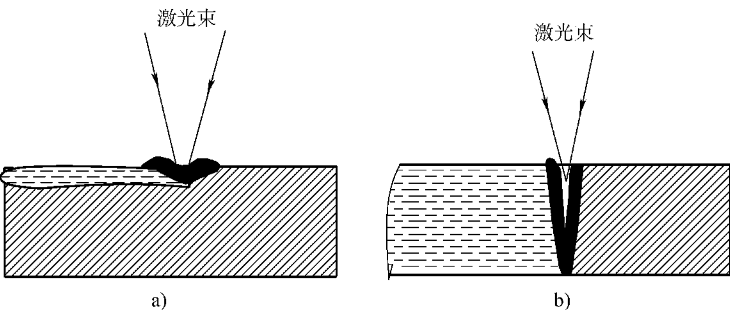


图 6-31　功率密度确定激光熔焊的模式

a）功率密度 < $10^5 W/cm^2$ 传热熔焊　b）功率密度 > $10^6 W/cm^2$ 深熔焊

要点 152　增弧激光焊电流不宜太大

在电弧电流一定范围内，通过激光引发的等离子流的传导，可将电弧从很远距离准确地引导到激光与焊件表面的作用点上，以增强激光焊效应、提高焊接速度。但当电弧电流太大时，等离子弧区电子密度会急剧提高，从而导致等离子体对激光的屏蔽作用加强，焊缝成形会变得不理想。因此在增弧激光焊时，电弧电流应控制在 300A 以下（图 6-32）。

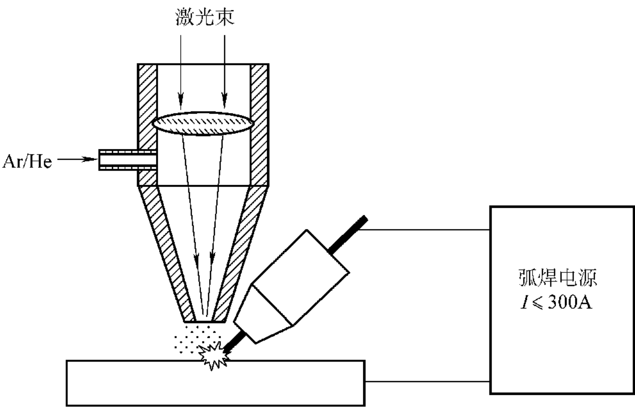


图 6-32　增弧（复合）激光焊工艺示意图

要点 153　细丝焊接激光功率密度不宜太高

为保证细丝（ϕ 0.01 ~0.1mm）

在焊接过程中材料无大量汽化和飞溅，焊后不断裂，应用功率密度较低、脉冲期较长、光斑直径相对较大、能量分布均匀的激光束（图 6-33）焊接。同时，还应做好焊前准备，保证装配精度，采取必要措施，以获得良好的焊接效果。

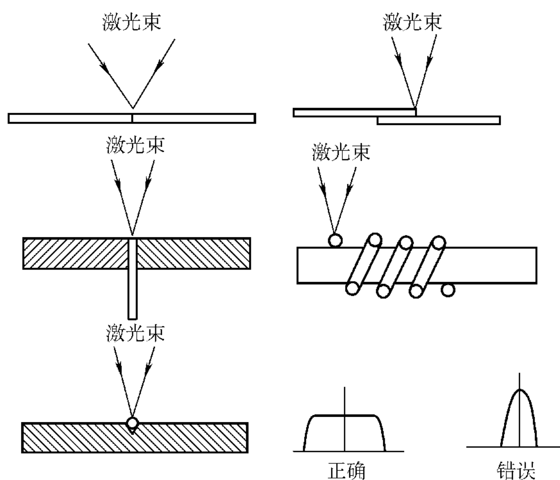


图 6-33　细丝激光焊的接头形式与合适激光模式

要点 154　激光切割应用的限制条件

激光切割的原理是利用高功率密度的激光束扫描过材料表面（图 6-34），在极短时间内将材料加热到几千至上万摄氏度，使材料熔化或汽化，再用高压气体将熔化或汽化物质从切缝中吹走（图 6-35、图 6-36），达到切割材料的目的。

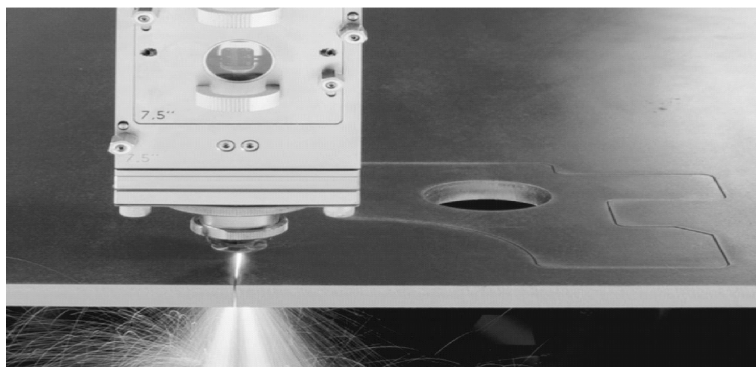


图 6-34　金属板材的激光切割

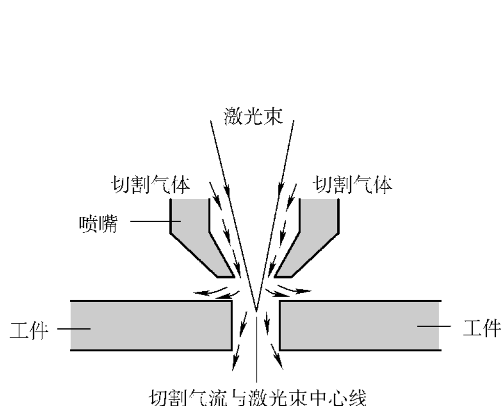


图 6-35　激光切割示意图

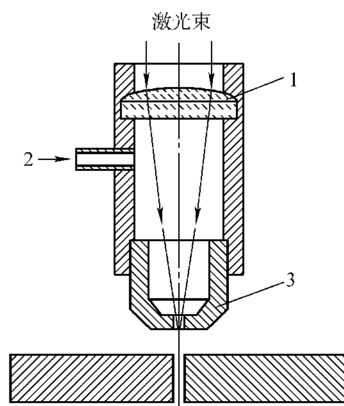


图 6-36　激光切割的喷嘴结构
1—透镜　2—气体入口　3—喷嘴

激光切割是一种高质量、高效率的加式方法，但在应用方面有其局限性：

1）汽化切割非金属不熔化材料（如木材）的激光功率密度较高，一般大于$10^8 W/cm^2$。

2）激光切割金属板材的厚度不宜追求高指标，一般小于10mm，大厚板切割因割速较低和切口质量欠佳，实用意义不大。

3）熔化切割的工作气体应以惰性气体为主，通氧切割会增加切口的粘渣倾向。

4）YAG激光（波长1.06μm）；因有较强的穿透性，故不能切割有机玻璃等透明材料。

5）氧化反应剧烈和可能改变其物理、力学性能的材料（如钛等）不宜采用吹氧切割。

6）切割过程中有开裂倾向的材料（如钠钙玻璃）不适于激光切割。

7）对CO_2激光不能充分吸引的金属（如金、银、铜等）不宜采用激光切割。

要点155　激光切割不宜使用线偏振光

激光切割速度和切口质量在一定条件下取决于光束的偏振性。当采用线偏振光切割时，沿着偏振方向切割，切割速度最快、切缝最窄、切口平直；垂直于偏振方向进行切割则反之，切速慢、切缝宽、切口粗糙。因此为使在各个方向切割条件不变、都能得到高质量的均一切口，激光切割应采用圆偏振光，如图6-37所示。

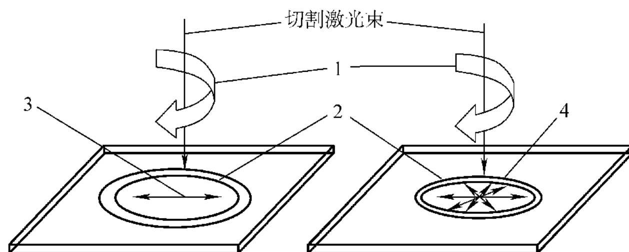


图6-37　圆偏振激光束适用切割

1—激光束沿切割轨迹的运动　2—切缝　3—线偏振激光束的偏振方向　4—圆偏振激光束的偏振方向

要点156　激光切割焦点位置不宜远离板平面

为了提高光束能量的吸引并减少切缝宽度，应根据切割材料的厚度选择适当的焦距，同时兼顾焦深和切割气流高压区的位置来确定焦点位置（图6-38）。一般情况下，激光切割聚焦光斑的位置应靠近工件表面，随着板厚的增加，焦点位置逐渐向工件内部深入，其最佳位置大约在工件表面下方1/3板厚处。

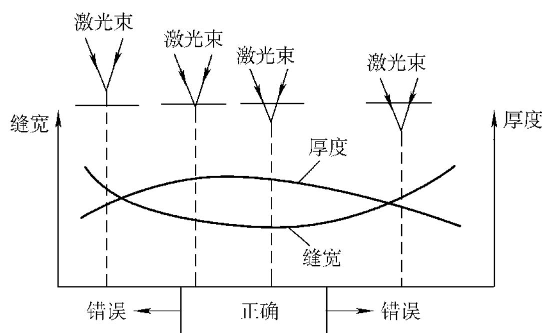


图6-38　焦点位置对缝宽的影响

要点157　激光切割速度不应超出一定的范围

1）激光切割速度与材料厚度、激光功率和切割状况有关。在一定条件下，有一个最佳的速度范围。切速过低，会造成材料过烧，切缝底部断面粗糙，切口和热影响区过宽等；切速过高，也会产生切口粘渣、断面不平整或未割透缺陷，如图6-39所示。

2）对激光加工机而言，因所能承受的惯性负载有一定限制，因而也存在一定加速度所

允许的最高速度问题。例如，在切割复杂轮廓工件时，如果圆孔半径 r 较小，线速度 v 较高，则向心加速度 $a=v^2/r$ 较大，甚至会超过允许的加速度范围（2～2.5m/s^2），从而造成加工机失控。因此在切割复杂轮廓时，需要降速至最佳速度下限。

要点 158　辅助气流不宜从切割前方导入

为了提高切割速度和增加切割材料的厚度，可以在同轴喷嘴的后面设置一个不同轴的侧向喷嘴，将第二种辅助气体导入切缝（图 6-40）。辅助气体正确的导入方向应在切割后方，与同轴喷嘴间夹角约为 50°。改变这个角度和方位会削弱辅助气流对切缝底部熔渣的去除能力，并使粘渣高度增加。此外，X 值大小对粘渣高度也有影响，在切割时应根据实际情况适当调整。

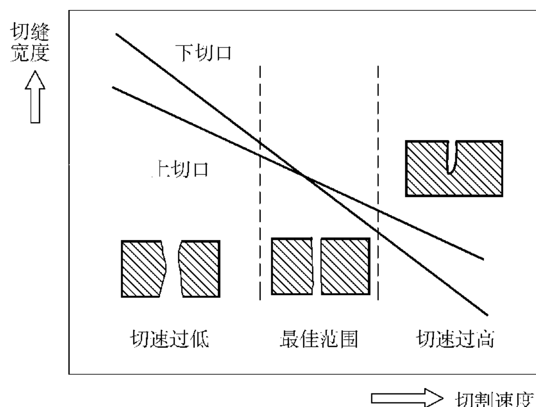


图 6-39　切割速度对切缝的影响

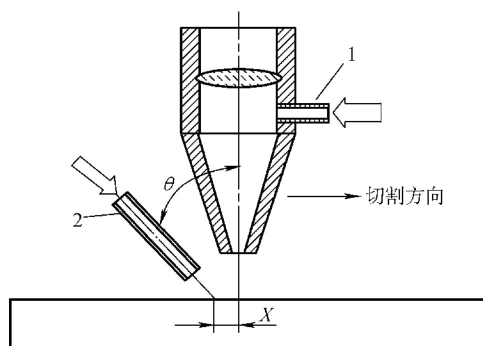


图 6-40　辅助气流的调整

1—同轴气流入口　2—辅助气流入口　θ—可调至最佳

要点 159　厚断面切割不宜使用短焦距透镜

激光切割通常使用的透镜焦距为80～150mm，因为透镜焦距越短，光束聚焦后光斑直径越小，功率密度越高，切缝也越窄。但因其焦深较短，故只适于薄板高速切割。长焦距（$f>150$mm）透镜的聚焦光斑功率密度虽然较低，但其焦深大，可用来切割厚断面材料，如图 6-41 所示。

要点 160　直接切割熔体流动性较差的材料不易获得无粘渣切缝

直接切割熔体流动性较差材料（如不锈钢）时，一些金属氧化物（如 Cr_2O_3）有限止氧气进入熔化材料内部趋势，使熔化层氧化不完全，反应热减少，熔渣粘附力增强，切割速度变慢。采用层叠法切割可以提高熔渣流动性（图 6-42），对一定厚度的材料，可获得高质量的无粘渣切缝。

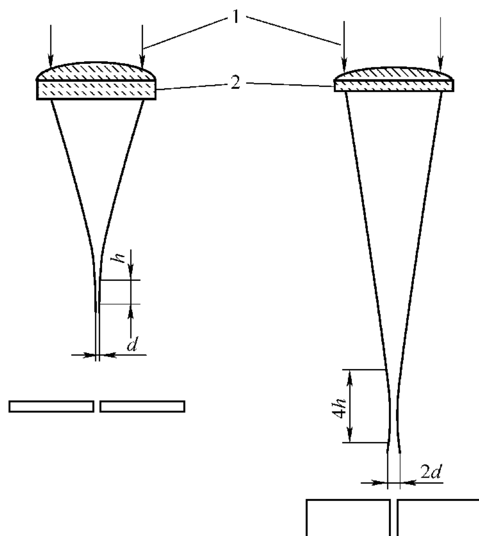


图 6-41　焦距与适宜的切割板厚

1—入射光束　2—透镜　h—焦深　d—焦斑直径

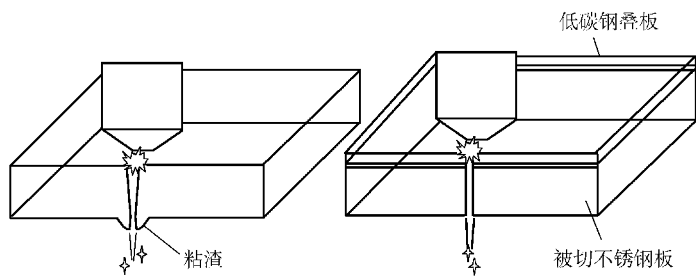


图6-42 层叠切割法示意图

6.2 激光焊接与切割设备选择与使用要点

要点161 激光焊接和切割不宜采用高阶模激光束

聚焦后的激光束，照射在工件表面上，就形成光斑。焦后光束直径的大小，一般就反映了聚焦的好坏；虽然激光光斑直径很小，但是仔细对光斑进行深入研究后发现：在激光光斑直径方向上，激光的光强分布并不是均匀的。这种激光光斑直径方向的分布状态称为光斑模式。

光斑模式的英文含意是 Transverse Electromagnetic Modes（TEM），即横向电磁模式之意。

图6-43示意给出三种光斑模式与横向（径向）光斑强度分布的对应关系。

其中，TEM_{00}模式光斑是进行激光热加工，特别是激光焊接与切割所要求的光斑模式，因为光强是以光斑圆心为中心呈现所谓高斯分布（图6-44、图6-45），它具有良好的工艺性能。

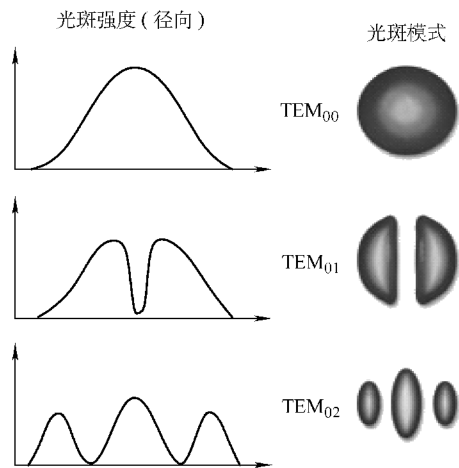


图6-43 光斑模式示意图

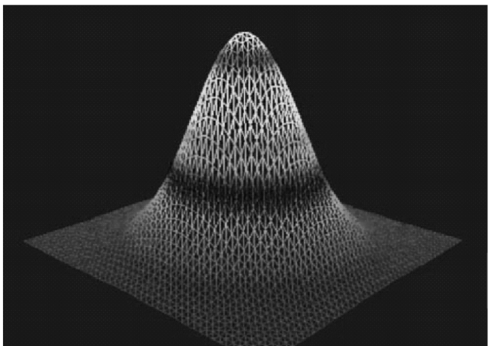


图6-44 TEM_{00}模光斑的光强“高斯分布”

而其他光斑模式（图6-46）都有光强为零的区域，这会恶化光斑的工艺性能。

通常用TEM_{mn}表示激光束横模的光场分布，m和n为横模指数；横模的阶次越高，模体积越大，聚焦光斑直径也越大，功率密度则越低。对激光焊接和切割，适合的激光功率密度

为 $10^6 \sim 10^{12} W/cm^2$，采用高阶模激光束不能满足其要求。因此希望激光器输出激光束为基模或低阶模，图 6-47 给出了适用于焊接的激光束横模类型。

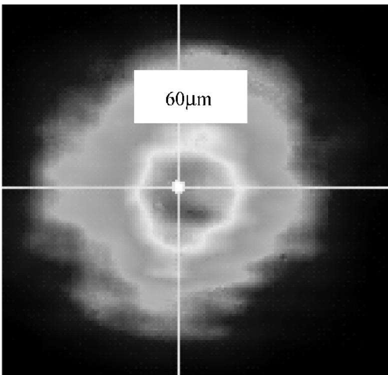


图 6-45　TEM_{00}模式光斑的热成像图

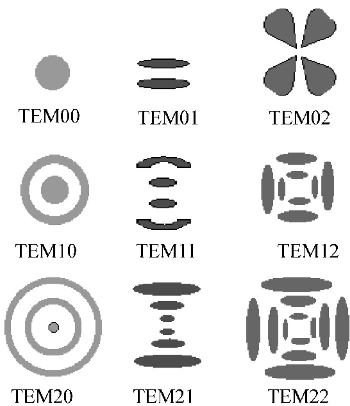


图 6-46　常见光斑模式

要点 162　注重对激光器长时工作的光斑模式稳定性的考查

在激光焊接和切割应用实践中，最应引起注意的是激光器长时工作的光斑模式稳定性问题。这是因长时工作后，光斑模式一旦失去稳定，激光焊接和切割加工质量就难以保证。

大量的生产实践证明：气体激光器中，快速纵流 CO_2 激光器（图 6-48）是实际焊接应用最多的一种 CO_2 激光器，这是因为：

轴对称 TEM_{mn}	30　20　33　04　21　11	10　01	00
旋转对称 TEM_{mn}	20　11　03　02	10　01　01	00
应用	不适用焊接	较好	好

图 6-47　激光束横模的光场分布

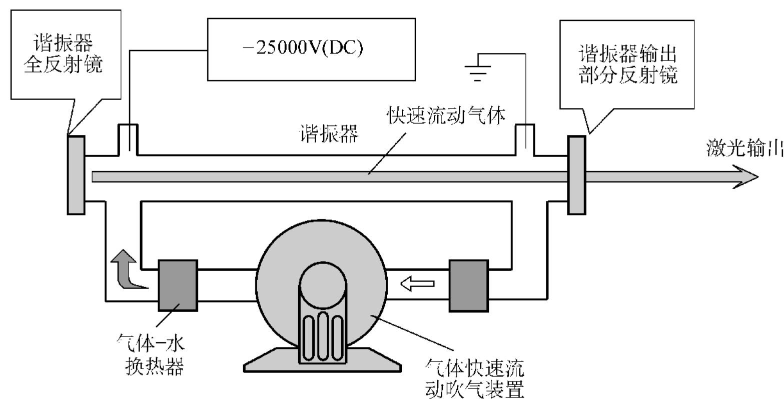


图 6-48 快速纵（向）流（动）CO_2 激光器的结构示意图

1）高光束质量，其模式较好，可获得 TEM_{00} 模式，且稳定性好。

2）效率高，其总效率（电光转换效率）为 10% 左右，比其他工业用激光器的效率高得多。

3）其功率可做得很大，最近国外商品化的最大连续输出功率已达 25kW。

所有这些优点都是激光热加工所需要的。

图 6-49 是华工恒信激光公司按 LANCE（美）标准生产的快速纵流 CO_2 激光器的外型。表 6-1 中，给出了 LANCE3500、LANCE4000 两个型号激光器的技术性能参数。



图 6-49 华工恒信商品快速纵流 CO_2 激光器

表 6-1 LANCE3500、LANCE4000 激光器性能参数

型 号	LANCE3500	LANCE4000
激光波长/μ	10.6	10.6
最大输出功率/W	3700	4100
激光功率范围/W	200 ~ 3500	300 ~ 4000
长时间激光功率稳定度	≤ ±1%	≤ ±1%
光斑直径（输出窗口处）/mm	16	16
光束发散角（全角）/（mrad）	≤2.0	≤2.0
光点稳定度（24h）/（mrad）	≤0.2	≤0.2
模式	TEM00/01	TEM00/01
光束质量/M^2	<2.2	<2.2
激光偏振状态	垂直线偏振或圆偏振	垂直线偏振或圆偏振
工作方式	连续、脉冲、超脉冲	连续、脉冲、超脉冲
脉冲频率/Hz	20 ~ 2500	20 ~ 2500
最小脉宽/μs	150	150
峰值功率/W	7000	8000
预热时间/（min）	6	6
电功率消耗/（kVA）	42	50

要点 163　掌握常见激光器的类型和特点

1. 横流 CO_2 激光器

与纵流 CO_2 激光器不同，在横(向)流(动)CO_2 激光器的谐振器内，激光气体的流动方向是与激光光束的方向相互垂直（见图 6-50）。

横流 CO_2 激光器优点是谐振器的体积与纵流 CO_2 激光器相比，显得较为紧凑。

缺点是：由于光路中的折光镜较多，会造成激光光束输出模式的不稳定。

因此在焊接 CO_2 激光器实际应用中，有被纵流 CO_2 激光器取代的趋势。

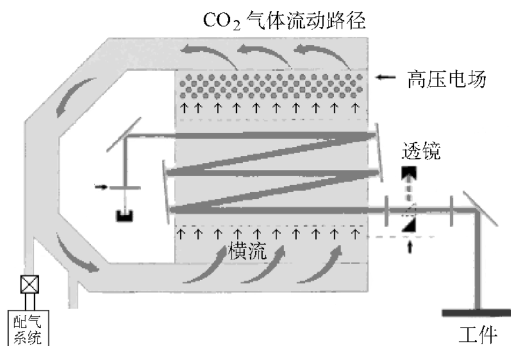


图 6-50　横向流动 CO_2 激光器结构示意图

2. 直流（DC）板极（SLAB）CO_2 激光器

直流（DC）板极（SLAB）CO_2 激光器（图 6-51、图 6-52）是近年来国外开发的新型大功率输出 CO_2 气体激光器。

其主要技术性能指标：

最大功率：5000W；

光束质量：K factor = 0.8；

光斑模式：TEM_{00}（图 6-53）。

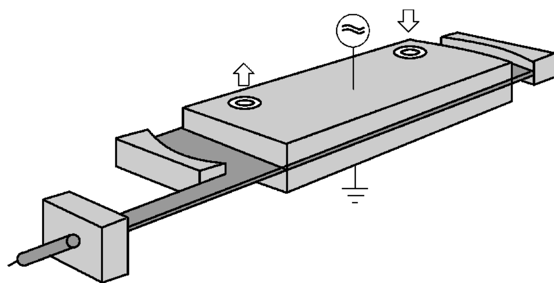

图 6-51　直流板极 CO_2 激光器的结构示意图



图 6-52　商品（ROPIN 公司）板极 CO_2 激光器

结构特点：

1）无罩式铜光谐振腔（Uncoated copper resonator optics）。

2）无气体外循环系统（No external lasing gas unit）。

3）使用电磁窗口的光学传输（The only transmissive optics are the magnet window）。

4）无外望远镜光学系统（Potential for eliminating the external telescope）。

有人预言，直流（DC）板极（SLAB）CO_2 激光器将成为今后大功率输出 CO_2 气体激光器的主流。

3. YAG 激光器

YAG 激光器是以钇铝石榴石（$Y_3Al_2O_{12}$）为激光物质的固体激光器的一种。它具有许多不同于 CO_2 激光器的良好性能。

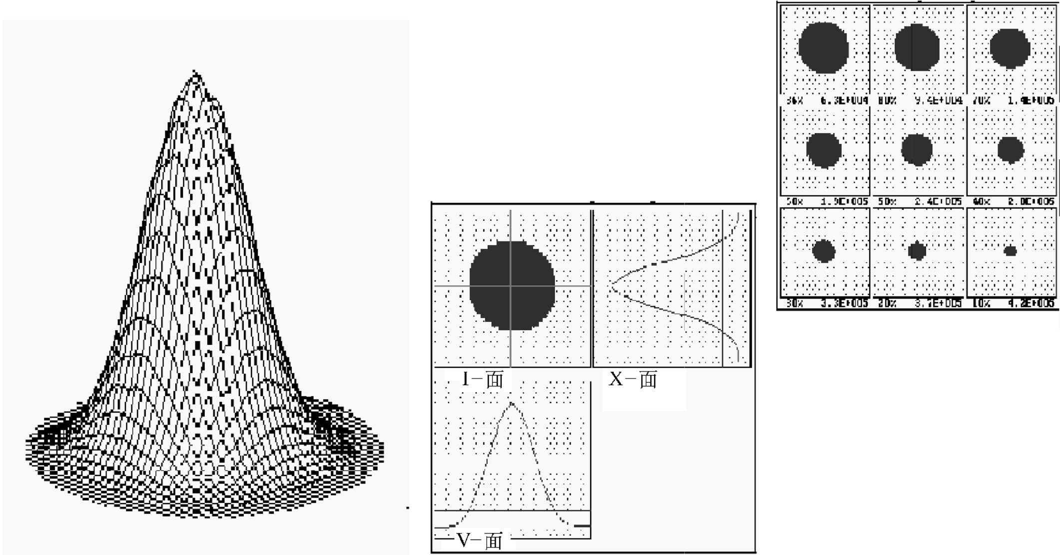


图6-53 直流板极 CO_2 激光器的光斑模式

1）它输出的波长为1.06μm，恰好比 CO_2 激光器的波长10.06μm小一个数量级，因而使其与金属的耦合效率高、加工性能良好（一台800W YAG激光器的有效功率相当于3kW CO_2 激光功率）。

2）YAG激光器能与光纤耦合，借助时间分割和功率分割多路系统能方便地将一束激光传输给多个工位或远距离工位，便于激光加工实现柔性化、更容易实现激光加工机器人系统，这就有在汽车工业中推广的优势。

3）YAG激光器能以脉冲和连续两种方式工作，其脉冲输出可通过调Q和锁模技术获得短脉冲及超短脉冲，从而使其加工范围比 CO_2 激光更大。

4）YAG激光器结构紧凑、重量轻、使用简便可靠、维修要求较低，故其应用前景看好。

YAG激光器的主要缺点是：

1）其转换效率较低，仅为1%～3%，这比 CO_2 激光器的效率约低一个数量级。

2）YAG激光棒在工作过程中存在内部温度梯度，因而会引起热应力和热透镜效应，限制了YAG激光器平均功率和光束质量的进一步提高。

3）YAG激光器每瓦输出功率的成本费比 CO_2 激光束。

4. Nd^{3+}: YAG激光器

Ndi^{3+}: YAG激光器是在钇铝石榴石（$Y_3Al_2O_{12}$）基体中，掺入氧化钕（Nd_2O_3）而制成的。它是唯一的能得到连续、高功率输出的固体激光器；Nd^{3+}: YAG激光器可用氪灯泵，现代的功率输出水平已达3kW以上；近年来，又开发出以发光二极管为激光泵的 Nd^{3+}: YAG激光器，使功率输出水平进一步提升。图6-54示出发光二极管为激光泵的商品化系列 Nd^{3+}: YAG激光器的外型。

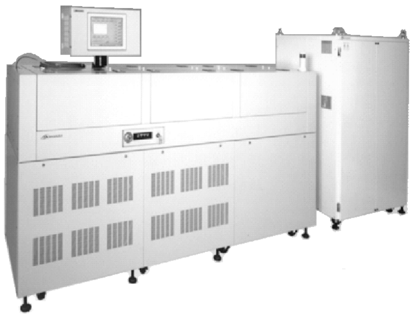


图6-54 一种商品 Nd^{3+}: YAG激光器

从表6-2看出：其最大输出功率已达到

4.5kW；但这时的电功率输入是 81kV·A，表明电光转换效率只有 6% 左右，这是 Nd^{3+}：YAG 激光器的主要缺点。

由于 Nd^{3+}：YAG 激光器的输出波长也是 1.06μm，因此也有可用光纤传导的优点。

表 6-2　Nd^{3+}：YAG 激光器性能表

项目	型号			
	LAL－210A	LAL－220A	LAL－240A	LAL－260A
波长	1.06μm			
输出功率	700W	1.4kW	2.7kW	4.5kW
输出稳定性	波动 < ±2%			
光束模式	多模			
泵浦	发光二极管（LD）			
控制方式	数字 I/O			
传导光纤	阶跃型模式、芯径 600μm 光纤（Step index mode，Core Diameter 600μm）			
设备尺寸	1810(W)×750(D)×1635(H)		2600(W)×750(D)×1370(H)	3400(W)×750(D)×1410(H)
电源	20kV·A	38kV·A	56kV·A	81kV·A
水冷	≤20℃ 30L/min	≤20℃ 60L/min	≤30℃ 133L/min	≤30℃ 160L/min

要点 164　激光焊接和切割不宜使用长焦距聚焦镜

在焦平面上的光束直径 d 与透镜焦距 f 和光束发散角 θ 有关（$d=f\theta$）。在激光切割和焊接时，为获得足够高的功率密度，一般不允许光束发散角过大，也不使用长焦距聚焦镜（图 6-55）。

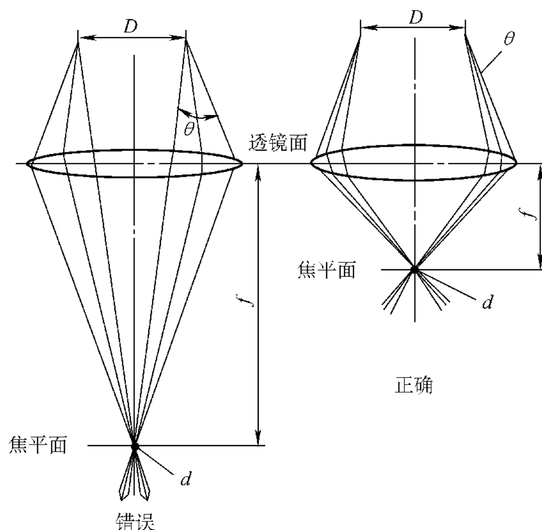


图 6-55　透镜对激光束的聚焦

D—光束直径　θ—发散角　f—焦距　d—焦斑直径

要点 165　大功率激光加工不宜采用透射式聚焦系统

透镜在使用时容易受到溅射物的污染，使其对激光的吸收增加而引起透镜破裂。同时，透镜受热产生的热畸变还会使焦斑位置向透镜方向移动。这种热破坏趋势和热透镜效应随激光功率的增加而急剧增加。因此透射式聚焦系统不适用于 5kW 以上的大功率激光加工（图 6-56）。

要点 166　非环状光束不宜采用同轴球面反射聚焦系统

尽管同轴球面反射聚焦系统的聚焦性能优良，但该系统只适于非稳腔输出的环形光聚焦，

且工作距离相对较短。对基模光束和要求工作距离较大时，应采用离轴球面聚焦系统或离轴抛物镜聚焦系统聚焦(6-57)。

要点167　高速切割时不宜使用简易喷嘴

为了提高喷嘴压力，提高切割压力而又避免产生正激波，可采用特殊设计的喷嘴。例如，可使用较高气压的高速喷嘴，能避免形成正激波的非圆喷嘴和能提高中央气流背压的双层喷嘴等(图6-58)。

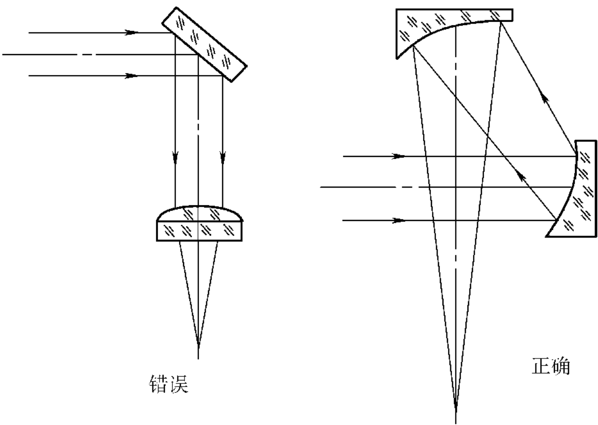


图6-56　透射式与反射式聚焦系统

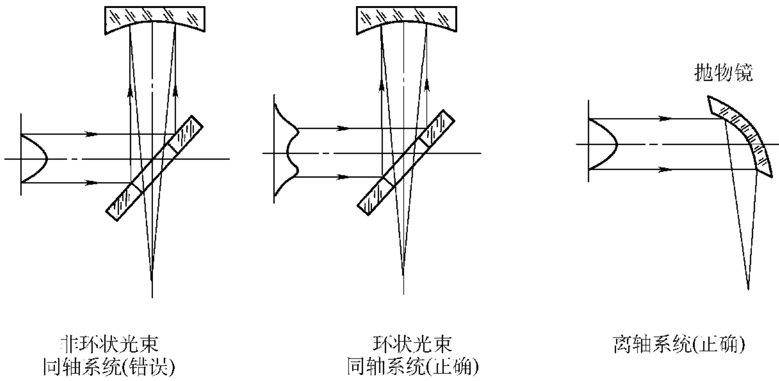


图6-57　聚焦系统的类型

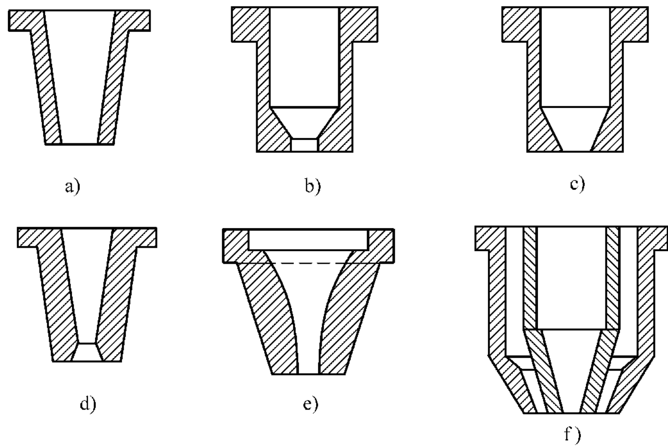


图6-58　几种形式的喷嘴

a）锥形喷嘴　b）收缩准直形喷嘴　c）准直收缩形喷嘴

d）收缩扩张形喷嘴　e）高速喷嘴　f）双层喷嘴

第 7 章　电 阻 点 焊

7.1　电阻点焊工艺方法要点

要点 168　深入理解电阻点焊主要工艺参量的调节与作用

点焊（图 7-1）是焊件接触面的个别点上被焊接起来。焊接前，焊件表面须清理干净，再把被焊的板料搭接装配好，压紧在两柱状铜合金电极之间，当通过足够大的电流时，在板的接触处产生大量的电阻热，将中心最热区域的金属很快加热至高塑性或熔化状态，形成一个椭圆的液态熔池，一般称为熔核。断开电流后，上下电极还要继续保持压力，待熔核金属冷却后，形成了一个焊点。要掌握点焊技术首先要深入理解以下两个关键问题：

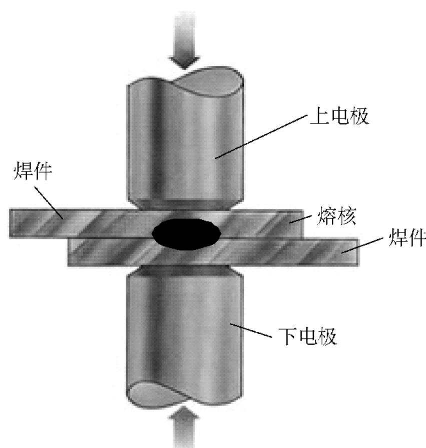


图 7-1　电阻点焊示意图

1. 点焊的基本程序动作与功能

点焊时完成一个焊点的焊接过程，主要包括"加压"、"焊接"、"维持"和"休止"四个基本程序动作。"加压"是指焊机的电极（在一般的点焊机中都是上电极）压下的程序动作，在这一动作中，焊件被压在上下电极之间，为焊接电流的接通作好了准备。

"焊接"是指焊接通电的程序，也就是向焊件通电，以使焊件在焊点处产生电阻热并形成熔核；"维持"是"焊接"通电程序后对刚断电的焊件继续保持电极的压力，这实际上是对焊点处因通电而变成塑性状态的熔核进行加压，这一程序动作就称为"维持"。"维持"这一程序动作对保证焊点的质量是十分必要的；一个焊件多数情况下不会只有一个焊点，因此在实际生产操作上，多个焊点是连续进行焊接的，于是点焊机对多个焊点的连续焊接就安排了焊点间的"休止"程序动作时间，在这个时间内，上电极抬起回到原位，以使操作人员将焊件移向下一焊点位置。

这样，完成一个焊点的程序动作循环就如图 7-2 所示。图 7-2 中，F 表示电极加压程序动作；I 表示"焊接"通电程序动作，图 7-2 中的实线正弦曲线表示焊接电流的波形。

上述点焊的程序动作时间均要求以 50Hz 电网电压正弦波形的周期为计时基准，即程序动作的延时时间都是 50Hz 电网电压正弦波形周期的整数倍。电网电压周期：$T = 1/50\text{Hz} = 20\text{ms}$，因此，点焊中各程序动作的时间就是 20ms 的整数倍。这样对点焊程序动作信号的主要要求是其延时时间可进行电网周期整数倍控制，简称为周波数控制。

例如：图 7-2 中，"加压"程序动作的延时时间为 3 个周波；"焊接"程序动作的延时

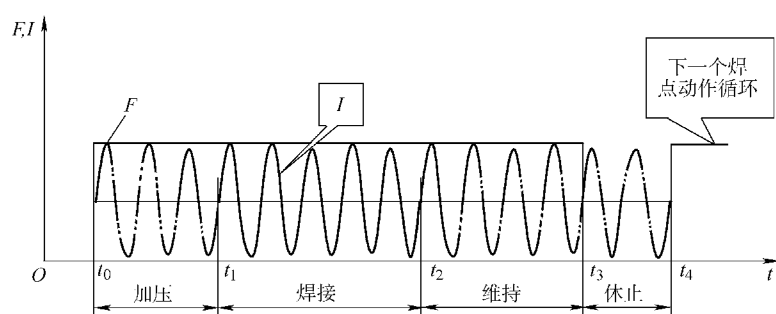


图 7-2 点焊的程序动作循环

时间为 5 个周波；“维持”程序动作的延时时间为 4 个周波；“休止”程序动作的延时时间为 2 个周波。

在实际的点焊机中，“加压”、“焊接”、“维持”、“休止”的程序周波数要求在 0～99 之间随意调节。

2. 焊接电流与电极压力对点焊工艺的作用

焊接电流是最重要的点焊参数之一，调节焊接电流的大小可以改变接头的力学性能(图 7-3)。通常，焊接电流较小的熔核，其抗拉、抗剪强度较低且不稳定。而随着焊接电流的增加，内部热源增大，熔核尺寸也稳定增大，熔核的抗拉、抗剪强度会不断提高。但若焊接电流增加过大，使加热过于强烈，引起金属过热、喷溅或压痕过深等缺陷，接头性能反而下降，故过大焊接电流不宜采用。

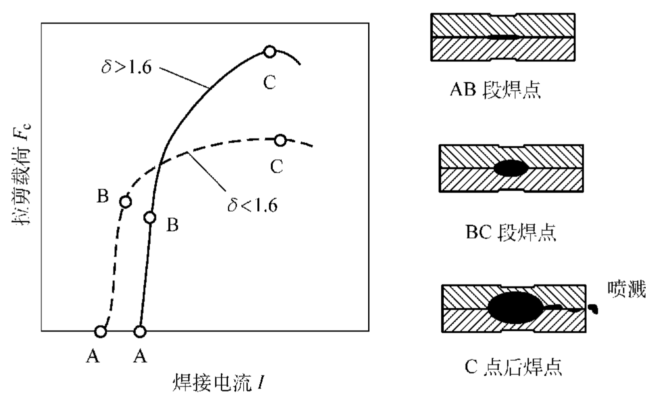


图 7-3 焊接电流对焊点的影响

电极压力对点焊的影响如图 7-4 所示。

电极压力过小时，由于焊接区金属塑性变形范围及变形程度不足，使局部电流密度过大而引起加热速度大于塑性环的扩展速度，从而产生喷溅。电极压力过大，又会使焊接区接触面积增大，使总电流和电流密度减少、焊接区散热增加，熔核尺寸下降，严重时会出现未焊透等缺陷。因此电极压力的大小应根据金属高温强度的大小和所选规范的硬软，相应地增大或减少；电极压力增加会使金属的弹性与塑性变形增大，对压平焊件和破坏导电不良的氧化

膜有利，其结果使接触电阻减少。如果电极压力过大，会使焊接区的电阻急剧降低或者消失，电源的功率将损失在焊接区以外的线路上，这对充分利用电源功率极为不利。

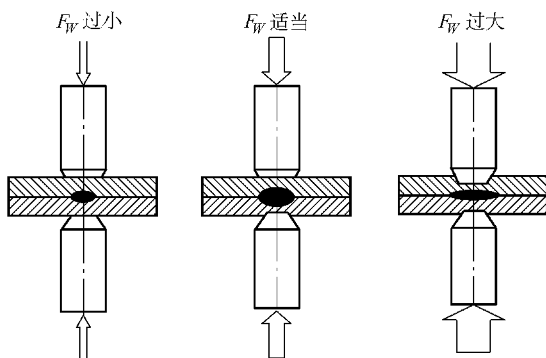


图 7-4　电极压力对焊点的影响

要点 169　不同厚度、不同材料点焊工艺要点

不同厚度和不同材料点焊，熔核不以贴合面为对称，而向厚板或导电、电热性差的中心偏移（图 7-5），其结果使其在贴合面上的尺寸小于该熔核直径。而在薄件或导电、导热性好的焊件中焊透率小于规定数值，这会使焊点承载能力降低。

熔核偏移的根本原因是焊接区在加热过程中两焊件吸热和散热条件不同：厚件电阻大吸热多，且析热中心离电极较远而散热缓慢，薄件情况正相反。这就造成焊接温度场及熔核向厚板偏移；而不同材料点焊时，导电性差的焊件电阻大析热多，但散热缓慢；导电性好的材料情况正相反。这同样要造成焊接温度场向导电性差的焊件偏移，温度场的偏移则带来熔核的相应偏移（图 7-6）。

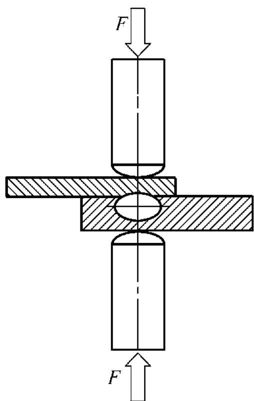


图 7-5　不同厚度钢板的熔核中心会偏向厚板

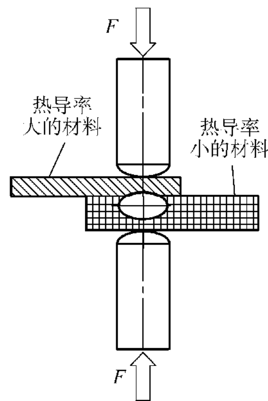


图 7-6　热导率不同时熔核中心偏向热导率小的材料

焊接技术要点：

1. 采用工频交流电源硬规范

50Hz 工频交流电源硬规范点焊时电流场的分布，能更好的反映对贴合面集中加热的效果；由于焊接时间短使热损失下降，散热的影响相对减小，对纠正熔核偏移现象有利。例如，使用 50Hz 工频交流电源点焊时，硬规范是指通电时间（周波数）短、焊接电流（有效值）大的焊接参数（图 7-7）；而软规范是指通电时间（周波数）长、焊接电流（有效值）小的焊接参数。

2. 采用电容储能电源

所谓电容储能电源是利用电容器充、放电原理构成的一种直流脉冲电流输出的电源。常

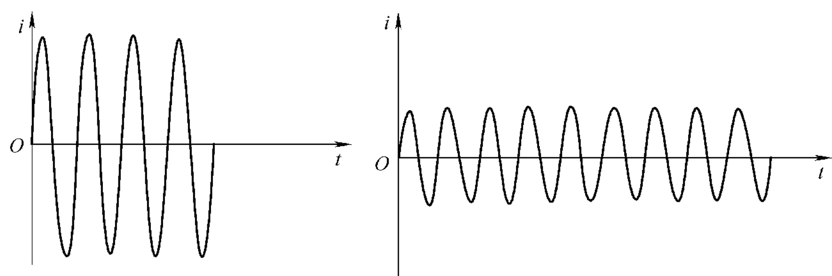


图7-7 50Hz工频交流电源点焊的硬、软规范比较

用于电阻点焊和凸焊，电源主电路结构形式如图7-8所示。

图7-8中的晶闸管 VT_1 ~ VT_3 和功率二极管 VD_1 ~ VD_3 构成可控电压的三相整流装置。整流后的直流电压 U_Z 经电阻R加到电容器C（一般为电容器组）上，从而有充电电流 I_1 流向电容器C，并使其充电。当电路中的晶闸管 VT_4 没有触发导通时，电容器C就会很快充满电荷而使其上达到一定的电压 U_C 值。理论上讲，假设电容器C没有漏电，其上的电压 U_C 会保持。

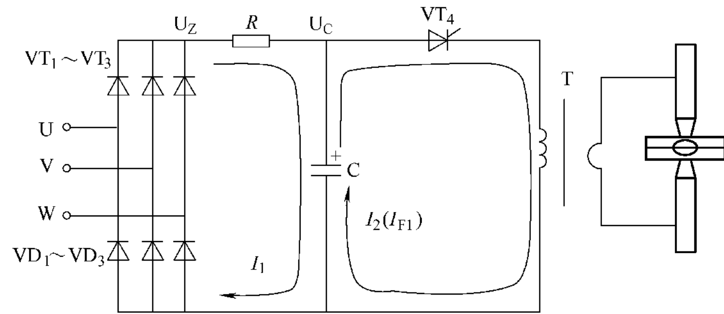


图7-8 电容（器）储能电源主电路结构

当电路中的晶闸管 VT_4 触发导通后，电容器C上的电荷就有了放电的回路。如果放电的回路如图7-8所示为一电阻点焊焊接变压器T的一次侧，则电容器C放电电流 $I_2(I_{F1})$ 就会在焊接变压器TW的二次感应出焊接电流。在实用型的电容储能点焊机中，其焊接电流可达很大的数值，如图7-9所示。

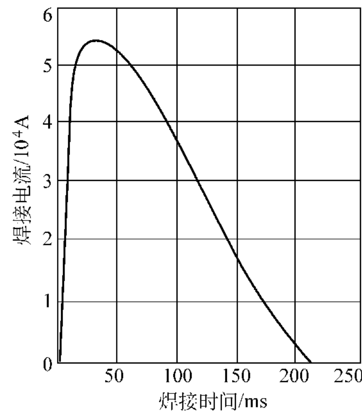


图7-9 T的二次感应脉冲电流波形

电容储能阻焊用电源的波形，是指焊接变压器T的二次感应脉冲电流波形，它是一种峰值很大、但时间很短的脉冲电流，属于硬规范电流。

3. 采用不同的电极

1）采用不同直径的电极。薄件（或导电、导热性好的焊件）一侧采用小直径电极，以增大电流密度，减小热损失；而厚件（或导电、导热性差的焊件）一侧则选用大直径电极，如图7-10所示。上、下电极直径的不同

使温度场分布趋于合理，减小了熔核的偏移。但是在厚度比比较大的不锈钢或耐热合金零件的点焊中与上述原则相反，只有小直径电极安置在厚件那面方能有效。

2）采用不同材料的电极。由于上、下电极材料的不同，其散热程度不相同。导热性好的材料放于厚件（或导电、导热性差的焊件）那面使其热损失也大，也可调节温度场分布，减小熔核偏移（图7-11）。例如，点焊5A02与3A21板材（λ（5A02）$>\lambda$（3A21），δ(5A02)＝2mm、δ(3A21)＝3mm)，可在5A02那面采用导热性差的CrCdCu合金电极，而在3A21那面采用导热性好的T2纯铜电极。结果表明，薄件的焊透率达20%～25%，满足质量要求。

3）使用特殊电极。在电极头部加不锈钢环、黄铜套或采用尖锥状电极头，均可使焊接电流向中间集中，从而使薄件（或导电、导热性好的焊件）析热强度增加，使温度场分布趋于合理。

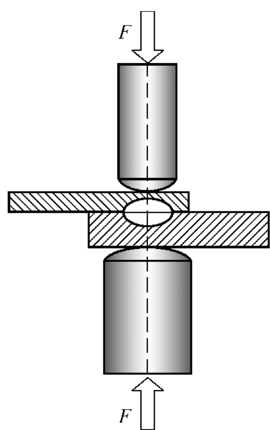


图7-10　用电极直径调节熔核

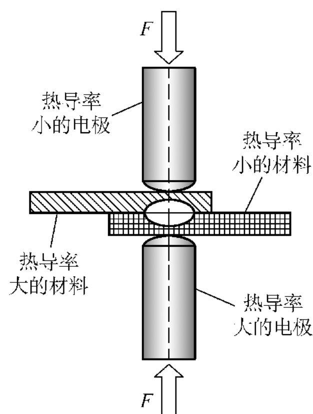


图7-11　用电极材料调节熔核

要点170　多层板点焊的工艺要点

由于同方向流动的直流电流束具有明显的“集束效应”，因此用于多层板点焊时，流经熔核的电流流线就相对集中（图7-12），形成的焊点质量好；而工频交流的“集束效应”远比直流电流弱，这是因工频交流的磁场强度滞后于电流。

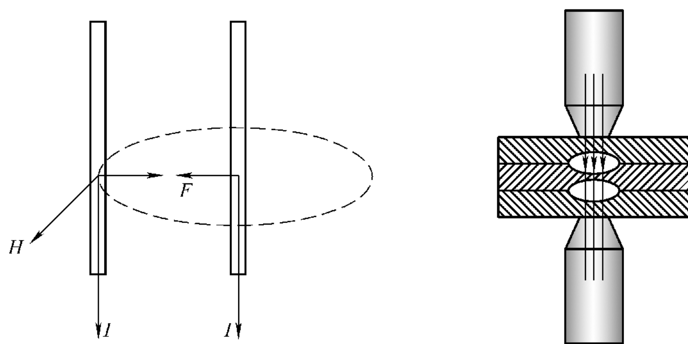


图7-12　直流的“集束效应”与多层板点焊应用

要点 171　特殊材料焊件的点焊要点

点焊焊接循环包括“加压”、“焊接”、“维持”、“休止”四个基本程序段，这也是目前焊接某些普通碳钢材料采用的所谓简单焊接循环（图 7-13）。为了保证焊点质量，遇到焊接特殊材料焊件时应使用复杂的点焊焊接循环（图 7-14）。例如，焊接厚钢板和高强铝等金属材料，使用预压压力，就能克服焊件刚性，获得低而均匀的接触电阻；对淬火倾向较大的材料，可采用缓冷脉冲的焊接参数；对调质处理材料，则采用电极间焊后热处理规范，对提高接头综合力学性能有利。

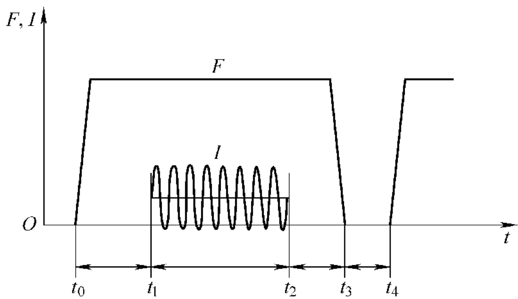


图 7-13　点焊的简单焊接循环

$t_0 \sim t_1$—加压　$t_1 \sim t_2$—焊接　$t_2 \sim t_3$—维持　$t_3 \sim t_4$—休止

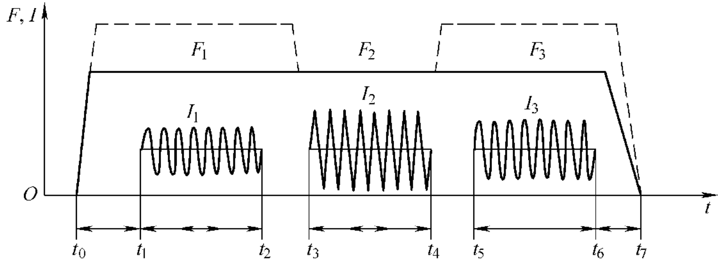


图 7-14　点焊的复杂焊接循环

$t_0 \sim t_1$—加压 F_1　$t_1 \sim t_2$—预热（电流 I_1）　$t_2 \sim t_3$—加压 F_2

$t_3 \sim t_4$—焊接（电流 I_2）　$t_4 \sim t_5$—加压 F_3　$t_5 \sim t_6$—热处理（电流 I_3）　$t_6 \sim t_7$—维持 F_3

要点 172　连续点焊时应适当提高焊接电流

连续点焊时，因点距较小，焊点将焊件短路而产生分流（图 7-15）。这样，焊接区因电流密度减少、加热不足，使熔核直径和焊透率降低，焊点承载能力下降。为了减少熔核分流的影响，可以加大点距，也可以适当提高焊接电流。一般情况下，不锈钢和耐热合金钢电流增大 5% ~10%，对于铝钢接头则需增大 10% ~20%。而要连续增大电流，焊机的控制系统必须具备预先的电流编程功能。

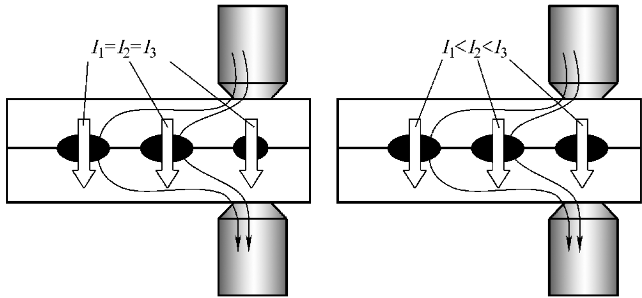


图 7-15　连续点焊时的焊点分流

要点 173　单面点焊的工艺要点

单面点焊由于分流严重会使电极与焊件局部接触表面过热，甚至熔化，严重时会形成初期表面喷溅（图 7-16）。同时，分流还会引起熔核歪斜，并溢出焊件表面形成晚期喷溅。

为了保证单面点焊质量，应减少分流电流，通常采用的办法是：

1）在焊件下附加一导电垫板。

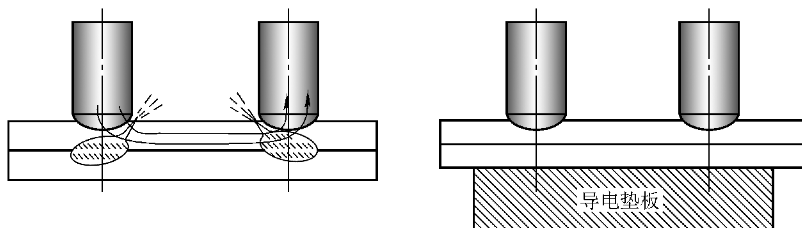


图 7-16　焊件下附加导电垫板

2）安装辅助电极（图 7-17）。

3）电极与薄板或导电性差的材料接触（图 7-18）。

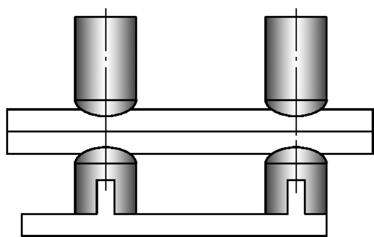


图 7-17　焊件下安装辅助电极

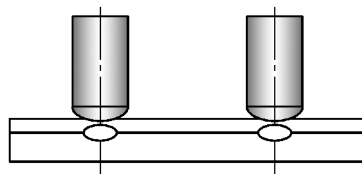


图 7-18　电极应置于薄板材料一侧

要点 174　须掌握的焊点质量分析要点

在确定具体焊接结构的点焊参数前，通常必须进行焊点试件的质量分析，才能最终确定合理的点焊参数。而进行焊点试件质量分析，其关键技术问题是找出缺陷焊点与焊接参数之间的定性关系。检查焊点的内在质量通常采用试件（样本）撕裂检验法（图 7-19）。

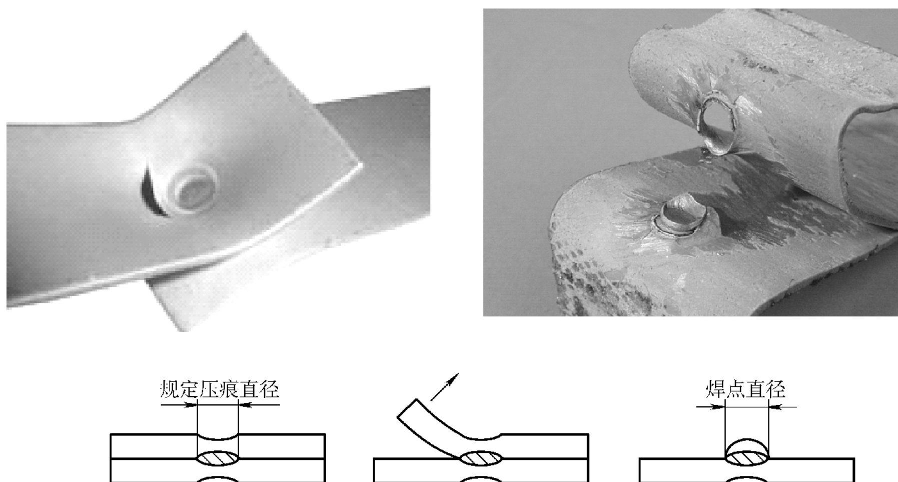


图 7-19　焊点样本的撕裂检验

1. 虚焊（Stuck weld）

虚焊焊点的外观如图 7-20 所示。焊件样本撕开后，虚焊的焊点表象就是母材没有熔化、根本没有形成熔核。

致陷原因：

1）焊接电流过小。

2）电极压力过大。

3）电极端部被镦粗。

2. 焊点尺寸偏小（Undersized Weld ）

正常合格的焊点，是焊点撕开后，直径达标的熔核上还牢固地粘附有母材（图 7-21 中的大焊点）；而焊点尺寸偏小时，则表现为粘附有母材的熔核直径很小。



图 7-20　虚焊的焊点

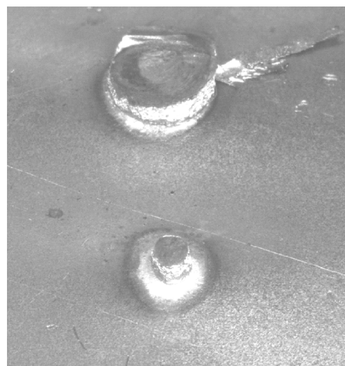


图 7-21　正常焊点与直径过小的焊点

致陷原因：

1）电极加压系统故障引起压力不稳定。

2）焊件表面污垢。

3）电极端面与焊件表面不平行。

4）电极端面相对焊件有滑动。

5）电极端面磨损。

6）电极冷却不足。

7）焊接电流小。

8）电极压力过大。

9）焊接通电时间短。

3. “缺口”焊点（Nonround Weld）

图 7-22 是有“缺口”焊点撕开后的况状。

致陷原因：

1）电极端部的形状选择不当。

2）电极端部与工件不平行。

3）焊件表面有油污。

4）焊机功率不够。



图 7-22　“缺口”焊点

4. 熔核撕开焊点（Interfacial Separation ）

熔核撕开焊点，就是焊点是由熔核中心线上被撕开、而熔核上没有粘附母材金属，（图7-23）。撕开焊点的熔核内要么存在裂纹（图7-24）、要么有其他熔核结晶缺陷。

致陷原因：

1）电流小而同时电极压力小。

2）焊件表面有油污。

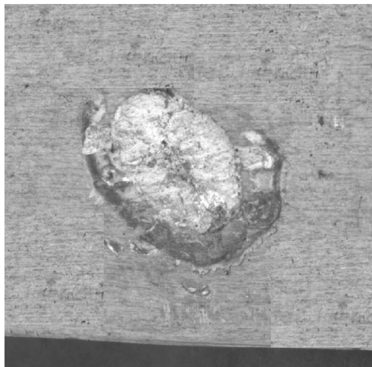


图7-23 撕开焊点的熔核上没有粘附母材

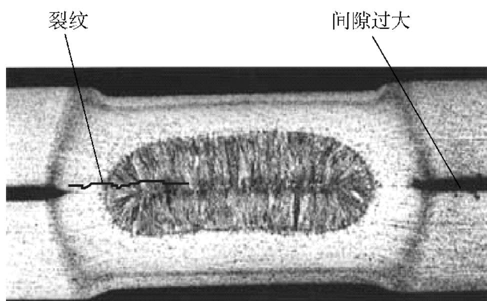


图7-24 撕开焊点的熔核内存在裂纹

3）碰上母材杂质的偏析。

4）电极压力过小。

5. 焊点过烧（Expulsion/Burn Through ）

过烧的焊点表面状况一看便知（图7-25）。

致陷原因：

1）电流过大而同时电极压力小。

2）电极端面严重污秽。

3）通电时间过长。

6. 焊点压陷（Excessive Indentation）

压陷焊点的背面如图7-26所示。

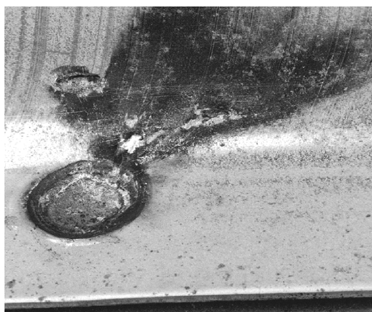


图7-25 过烧的焊点表面状况

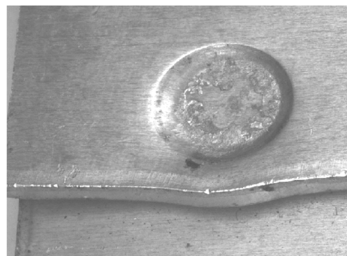


图7-26 压陷焊点的背面

致陷原因：

1）电流不太大、但通电时间过长（即焊接参数选择不恰当。

2）上电极的端面尺寸选择不恰当。

7.2　点焊设备选择与使用要点

要点 175　深入理解工频交流电阻焊电源与工艺特点

电阻点焊工艺方法在形成焊接接头的过程中，一是必须向接头提供大焊接电流、二是要向接头提供压力。

点焊机（图 7-27）电源是向焊接接头提供大焊接电流的电力装置，而电源主电路的类型不仅决定可提供焊接电流的大小、还确定着焊接电流对焊接接头的“加热效应”，二者是决定焊接接头的焊接质量的重要因素。

工频交流电阻焊电源是最常见的阻焊电源形式。其主电路一般均采用单相晶闸管相控调压电路的结构形式，（图 7-28）。电路中主要包括焊接变压器和串接在焊接变压器一次侧电路中的晶闸管（VT_1VT_2）对。晶闸管对是由图 7-29 所示的两只“板式结构”的晶闸管或图 7-30 所示的两只“辫式结构”的晶闸管经反向并联构成（图 7-31）。

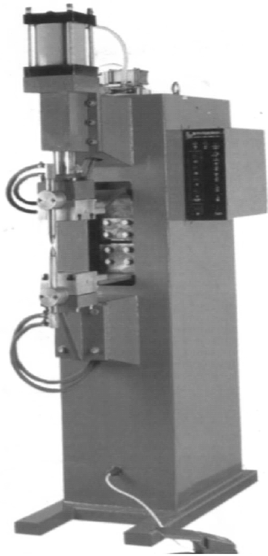


图 7-27　一种典型的座式点焊机

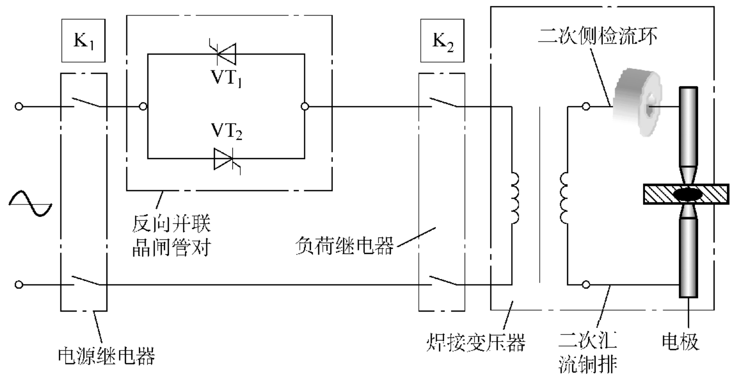


图 7-28　工频晶闸管调流电源主电路结构图

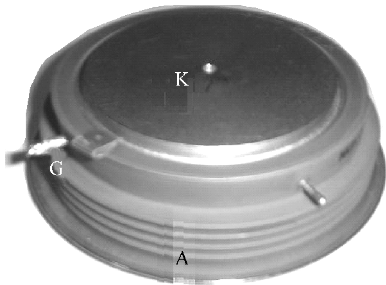


图 7-29　“板式结构”的晶闸管

A—阳极　K—阴极　G—门（触发）极



图 7-30　“辫式结构”的晶闸管

焊接变压器将电网电压（一般为380V）转换为适用于电阻焊接头的焊接电压（一般为3~20V）；而晶闸管对构成无触点方式的大功率交流开关。其主要功能有二：一是快速地“接通”、“断开”焊接电流，二是通过调节晶闸管对的“点火角”，可精细调节焊接变压器一次侧的电压，从而精细调节焊接电流。之所以称晶闸管对为交流开关，是因晶闸管对触发导通时，使流过焊接变压器一次侧（N_1）的电流为交流。例如，在电网交流电压的正半周（A点电位高于B点），令VT_2触发导通，有正半周电流I_A流经焊接变压器的一次侧（N_1），电流I_A是“自上而下”流过焊接变压器的一次侧（见图7-32）；而在电网电压的负半周（B点电位高于A点），令VT_1触发导通，则有负半周电流I_B流经焊接变压器的一次侧，电流I_B是“自下而上”流过焊接变压器的一次侧，即流过焊接变压器的电流是交流。

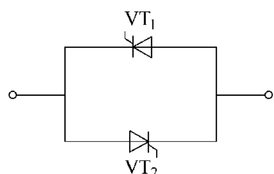


图7-31　两只晶闸管的反向并联

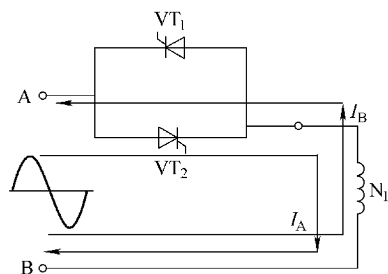


图7-32　晶闸管调压电路

而控制晶闸管“点火脉冲”u_i的移相范围（见图7-33中的$\Delta\alpha$），可改变在$\Delta\alpha$移相范围内电网电压U_s正弦波形包络线下的面积的大小，而该面积就反映加在焊接变压器一次侧电压U_s的大小。

不同大小的电压U_s则产生不同电流。正因电流大小的调节是因点火脉冲移相而得，所以亦称“相控调流”。

工频交流电阻焊电源的主要特点是：

1）焊接电流为断续的类正弦波形电流，其频率仍为50Hz，（图7-34）。

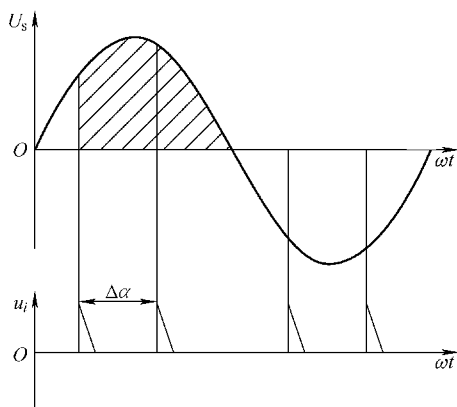


图7-33　晶闸管相控调压原理图

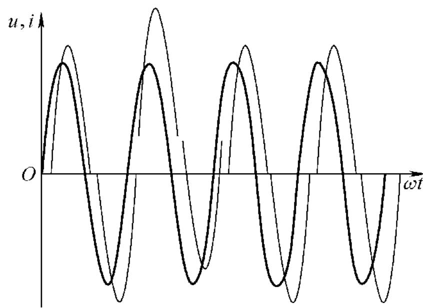


图7-34　工频交流电阻焊电源的波形

2）由于焊接电流每隔20ms就有过零点，因此带来焊接接头“加热效应”特点是：焊接接头电阻热的产生不够快，也就是属于软规范加热电源。

3）既然是软规范加热电源，对一些特殊结构、异种材料、不同板厚等的点焊不适用。

要点 176　充分了解工频交流电阻焊电源二次回路感抗对焊接电流的影响

只要是焊接变压器与点焊电极有较长安装距离的场合，诸如悬挂式点焊机、点焊机器人、多点焊机等应用场合，都要用二次电缆线（或铜排）将电流传导到上下电极（图 7-35）。由于焊接变压器二次输出端到上下电极间的二次回路的长短和包围面积的大小，是主要产生感抗的部分，因此根据阻抗三角形和电流三角形（图 7-36）知：感抗越大，传导到上下电极的有功电流就越小，因此点焊设备都尽量缩短二次电缆的长度与二次回路的包围面积。

而要缩短二次电缆的长度，最有效的办法是将焊接变压器和上下电极紧凑安放，这就形成所谓同体式点焊钳（图 7-37）。同体式点焊钳有极短的二次电缆（铜排）长度，而且固定电极根本就没有二次电缆（铜排），这样一来，同体式点焊机的焊接变压器虽然体积不大，但可输出较大有功电流，这也是点焊机器人多采用同体式点焊钳的原因。

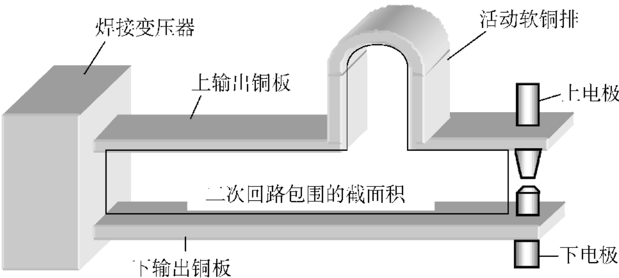


图 7-35　点焊机的二次回路

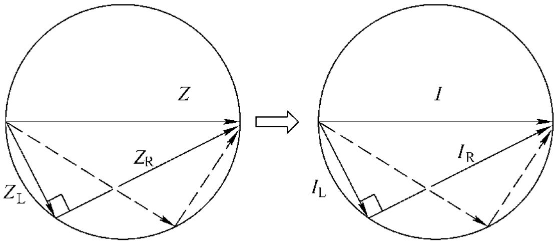


图 7-36　点焊机的阻抗三角形

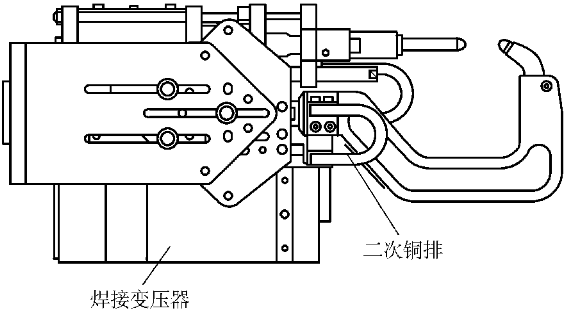


图 7-37　一种同体式点焊钳

要点 177　多点焊设备选择要点

当焊接结构件拟采用多点焊工艺时，一般首选单面双点焊工艺（图 7-38）。以 EQ－140 东风载重汽车的百叶窗构件为例，说明多点焊结构件在选择多点焊设备与电源方面的几个重要技术要点。百叶窗构件是放置在载重汽车散热水箱前的一个典型多点焊结构件，上面有

24个将1.2mm薄板与ϕ6mm的圆杆件焊接起来的凸焊点，如图7-39所示。

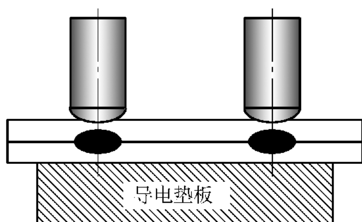


图7-38 单面双点焊

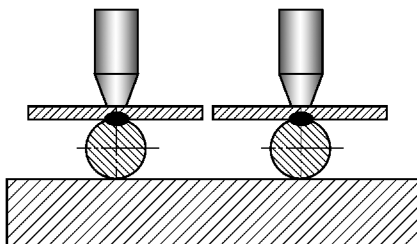


图7-39 一种单面双点焊结构

1. 多点焊的负荷投入电网（一般指上电极）要“分相”、“分批”

因为多点焊负载集中、大用电量的显著特点，多点焊必须使用三相电网供电，以使电网负荷均衡；多点焊机的焊点用电负荷如何均衡分摊到三相电网，首先，就是遵循焊点负荷“分相”、“分批”投入原则。例如图7-40中，焊点总数为24。按焊点负荷“分相”原则，三相电网负荷分为每相8点；如果这每相8个焊点一次通电焊完，一般多点焊机焊接变压器的功率都不足。为此，要将每相分摊的8个焊点再分为两批，“分批”投网。例如图7-40中，焊件上的24个焊点，左右侧各有12个焊点，No1、No3为一批焊点、No2、No4为第二批焊点；二批焊点“分时”投入电网进行焊接。这就是多点焊时的焊点负荷“分批”原则；当焊点总数更多时，还可将焊点分成二批以上。

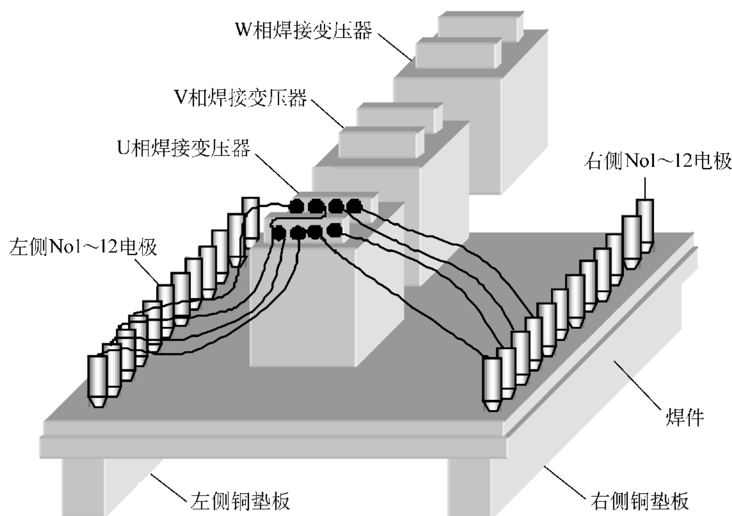


图7-40 多点焊的负荷“分相”

图7-41为一相内，二批焊点“分批”投入电网（上电极压下）的示意图；而图7-42是将多点焊（12个焊点）分配到三相电网的主电路结构图。可以看出，就每一相来说，都是单相工频晶闸管交流调压电路，其工作原理与前面已述单点焊电源完全相同。

2. 多点焊电极多用“液压”加压系统

多点焊电极应按电极“相隔”原则安排，这是因考虑到以下设计问题：当焊件上的焊点分布较为密集时，为保证每个电极的加压力，多点焊机一般多用“液压”电极加压系统，以尽量减小加压液压缸的尺寸。但同时带来二次电缆线、电极水冷系统等的安装调试、维修不便的问题，为此，焊点分布较为密集的多点焊机的电极压下结构，多按电极“相隔”原

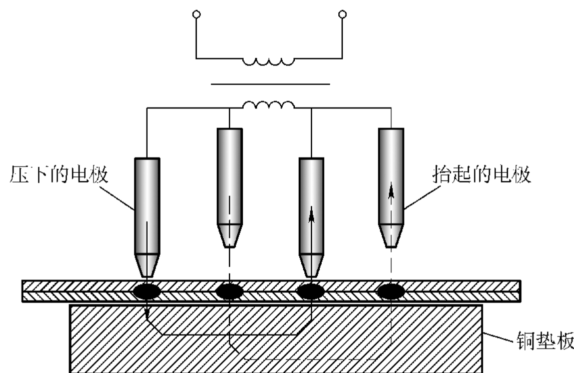


图7-41 多点焊的上电极“分批”压下示意图

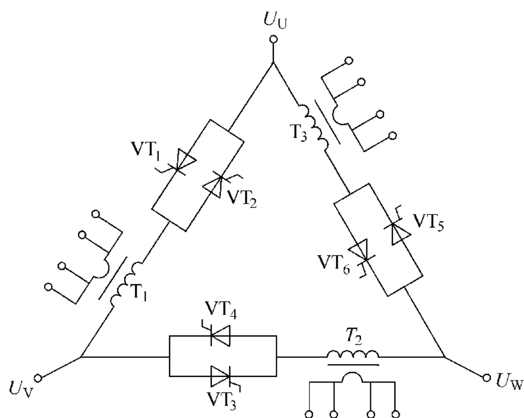


图7-42 多点焊用三相工频晶闸管交流调压主电路

则安排。

要点178 充分了解工频交流电阻焊电源功率因数（cosϕ）引发的弊端

每台工频交流电阻焊电源中，都包括一台焊接变压器，而凡是包括变压器在内的用电负载都属于电感性负载。由于焊件上总还具有一定的电阻，因此将焊件的电阻考虑在内，电阻点焊的负载性质为阻感性；应引起注意的是，电阻点焊阻感性负载的感抗部分，除了包括焊接变压器的一、二次回路的自感、一、二次回路间的互感外，还有因焊件伸入到二次回路的内部而引起的电感；阻感性负载性质的电路中，电流滞后于电压的角度 ϕ 的 cosϕ 值就是负载功率因数。

点焊过程中，随着焊件伸入到二次回路内部分的变动、以及已焊焊点分流电阻的影响，使得电阻点焊阻感性性质中，又加进了动态变化的属性。

由于电阻点焊时的阻感性负载的复杂性，再考虑到焊接电源主电源电路中，使用大功率的晶闸管交流开关，结果就造成动力供电—动态变化阻感性负载、多路晶闸管相控调压系统的下述特点（为简明起见，不做理论阐述）：

1）焊接电流本身是“断开”（不连续）的非正弦波形（图7-43）。

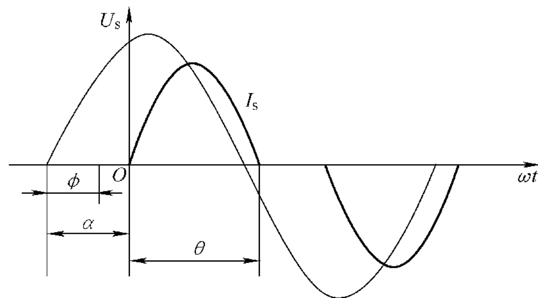


图7-43 点焊时晶闸管调压电源电路波形

2）负载具有变化的功率因数（角）。点焊机使用一体式焊接变压器时，其功率因数（角）的大致范围为：cosϕ = 0.9 ~ 0.6、ϕ = 9° ~ 70°。

这就表明，点焊时，电源向负载提供的电流总量中，有10% ~ 40%是无功电流。无功电流大就意味着电阻焊集中的焊接车间功率因数很低，这就要求对电网进行功率因数补偿，还要加大动力电源（供电变压器）的容量（kV · A数）。例如：一台单相点焊变压器的容量为50kV · A时，向其供电的动力变压器的容量就应达到70kV · A；同比计算，如果一个焊装车间使用100台套平均单台功率为50kV · A的点焊变压器，那么车间变电所三相动力变压器的容量应在7000kV · A以上。

从供电的角度看，车身焊装车间对供电电源容量的使用存在着很大的浪费；而从车身点焊工艺的角度出发，没有足够大焊接电流的提供，就没有合格焊点而言；这一“容量浪费”与“宁费保质”的电力供求矛盾，在电阻焊集中的焊接车间显得很突出。

3）也是由于电阻点焊负载的阻感性，造成大功率晶闸管交流调压电路（即焊接电源主电源电路）中，会产生过度过程冲击电流，其数值可达相当纯电阻负载的几倍乃至十几倍。加上车身焊装车间是阻感性负载即大量又集中的应用场合，其总的“效果”是将正弦波形的电网电压，“扭曲”成如图 7-44 所示的畸变。

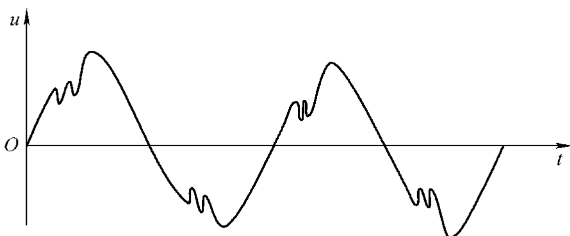


图 7-44　点焊负载集中车间的电网波形畸变

这种畸变的电网电压波形会对凡是共用同一台动力变压器的焊接电源、焊接电源的控制电路、各级控制计算机造成强烈的电磁干扰。

从每台焊接电源的角度看，焊接时，由它产生的电磁干扰会“扰邻”；而它又同时受“邻扰”；其总的情况是：常出现原因不明的焊接程序紊乱、焊接电流不正常，甚至焊接机器人也有时会“失态”。

而解决上述问题的主要措施（即用电管理）有：

1）在每台焊接电源上加装所谓“抗干扰”电路。

2）在车间管理级的计算机上，安装所谓“多台点焊机通电管理软件包”，其主要功能是限制同时有“焊接通电中断申请”的点焊机数量，以便不使电网超荷。

当电源供电严重不足时，焊接设备不工作时电源电压基本接近正常 360～410V 左右；当焊接设备工作时电流急剧增大导致控制器电源电压下降到 200V 左右甚至更低，尤其是多台大功率的点焊机同时接在一相电源上又赶上同时使用时，就会出现焊件的强度严重不足，同时造成控制器的工作不稳定。

当电源电压在很大幅度范围内波动时必然导致控制器焊接能量和焊接时间的不稳定不准确。当焊接设备的焊接参数调整不合适，如焊接时间调整过长或过短，焊接能量调整的过大过小，都会造成焊件的焊接性能无法保证，为此，先进的车身焊装线管理软件中，都包括点焊机，特别是多台点焊机器人用电管理软件，其控制思路是：

用高灵敏的电压监测仪分别监视各条单相供电线路。当监测到其中某一条线路电压低于设定的值时，就向主 PLC 申请中断。中断程序首先检查线路电压低到什么程度，再分别处理。

要点 179　充分了解电容储能电源的原理与性能

电容储能阻焊用电源的结构与简单工作原理已在前阐述，下面就电容储能阻焊用电源的性能作解说：

1. 电容储能阻焊用电源的电流波形

电容储能阻焊用电源的波形，是指焊接变压器二次的感应脉冲电流波形，它是峰值很大、而持续时间很短（只几百 ms）的电流脉冲。

图 7-45、图 7-46、图 7-47 所示中，调节电容器 C 上的充电电压 U_C 的高低、调节电容器组，改变电容 C 的容量、调节焊接变压器的变压比 K 都会改变电流脉冲的形状（主要用电流峰值的大小、脉冲时间来表示），因而进一步改变对焊接加热的效果。

焊接工艺实践表明：电容储能点焊时的这种“短时”但“峰高”的脉冲电流对焊点的加热速度是最快的。因而对厚度相差悬殊的焊件点焊、以及凸焊是很适宜的。

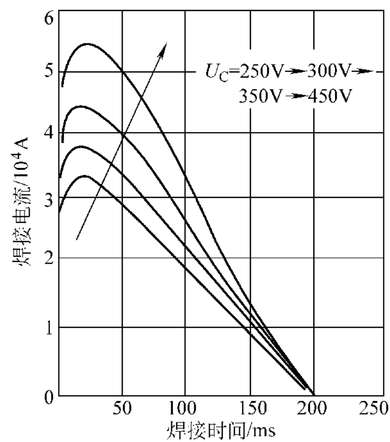


图7-45　电压 U_C 对放电电流 I_2 的影响

$K=61.5/1$；$C=16\times10^4\mu F$

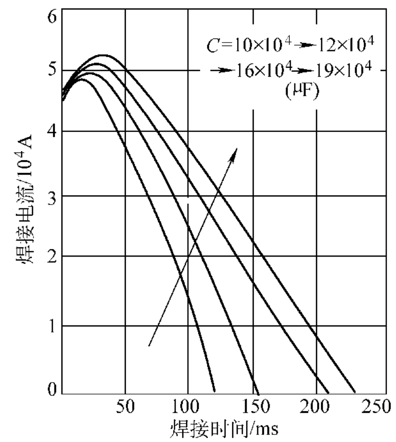


图7-46　电容 C 对放电电流 I_2 的影响

$K=61.5/1$；$U_C=430V$

2. 电容储能阻焊用电源多与焊接设备配套生产

很多国内外的阻焊设备生产厂家并不单独生产电容储能阻焊用电源，而是将其作为某种点焊用途（依特定焊件、产品划分）的焊接专机的电源系统配套生产。它们往往是凸焊专机的配套电源。

要点180　关注逆变式电阻焊电源的推广应用

逆变式电阻焊电源具有以下特点：

1）响应速度快，控制精度高。由于采用较高（与50Hz的工频相比）中频逆变频率（500～2000Hz），时间调节和反馈控制周期在1ms（1000Hz）以内，大大提高了焊接电流控制精度。

2）体积小，重量轻。由于采用中频的工作频率，在相同的功率输出时焊接变压器体积和重量明显减小。例如，宫地公司（日本）的逆变点焊电源（图7-48）输出的直流电流可达

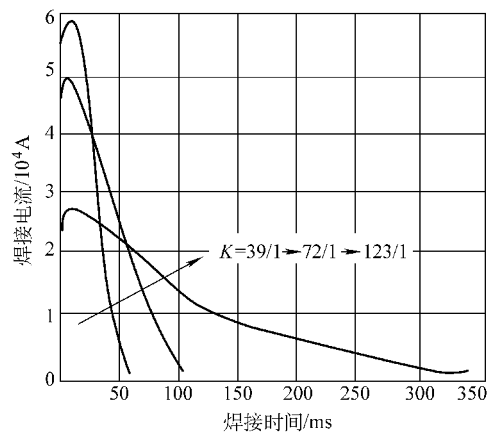


图7-47　焊接变压器变压比 K 对放电电流 I_2 的影响

$U_C=430V$；$C=16\times10^4\mu F$



图7-48　宫地公司（日本）的逆变点焊电源

20000A，而重量只有 60kg；MEDAR（美）公司最近的水平可达 60000A；而采用逆变式的一体式焊钳，其重量可减轻 50%。

3）三相负载平衡（图 7-49），功率因数高，节能。

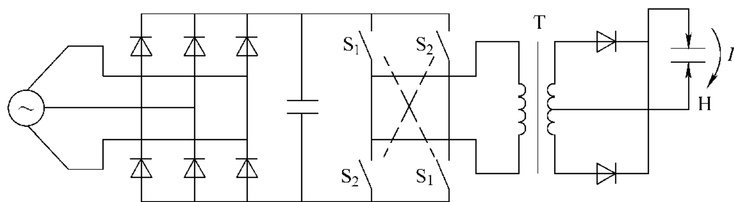


图 7-49　逆变阻焊电源原理图

4）工艺优势明显：电流波纹度小、无交流过零点时不加热焊件的缺点，热量集中能焊接各种材料。同时，电极寿命获得延长。

5）对大功率开关元件的不断更新。IGBT 是发展大功率逆变式电阻焊机的首选开关元件，近年的技术水平，其单管额定电流可达 3.3kA，集射极耐压高达 2.5kV，可以采用逻辑电平直接驱动，实现了元件驱动的电压控制。但大功率 IGBT 要采用特殊的散热技术（图 7-50）。



图 7-50　水冷散热大功率逆变器

由于对大功率整流二极管的不断更新，使用逆变式电阻焊电源向电阻点焊机器人供电，需要进行输出变压器的二次整流，以直流电接到电极或点焊机器人的焊钳。

为什么不能省略二次整流，而以交流电向点焊机器人供电？这是因为随着逆变频的增加，通往焊机电极汇流铜排、特别是点焊机器人的电缆线上的功率损耗会急剧增加。由于二次整流元件的接入、且焊接电流为脉动直流，这二者增加焊机的功率损耗约占整台焊机输出功率的 28%，虽然采用肖特基二极管会得到改善，但仍存在输出功率受到限制，因整流元件冷却系统会增加焊机体积和重量。

当前，已开发功率为 200kV·A 的用于铝合金轮圈焊接的逆变阻焊电源。

要点 181　掌握点焊控制器（箱）的原理与性能要点

1. 点焊设备中的电极加压系统

电阻点焊设备中的电极加压动力源有三种，即气压源（常用为压缩空气）、液压源（常用为油压）和由伺服电动机提供的机械压力源。气压源在点焊设备、缝焊设备及凸焊设备中都应用广泛；液压源在多点焊和闪光对焊设备中应用较多；而伺服电动机机械压力源则多用在闪光对焊设备以及部分现代点焊机器人焊钳电极的驱动。

上电极一般是活动电极，它通过电极夹头再与气压缸（或液压缸）中的活塞杆相连成一体。因此当气压缸活塞杆向下移动时，就驱动上电极对工件施压。一般电阻焊设备中，往往只将一个电极设计成动电极，例如图 7-51～图 7-54 中的上电极；只有在点焊机器人中，可以碰到上、下电极一齐“张开”或一齐“加压”的 X 型机器人点焊钳的特殊设计（图 7-55）。

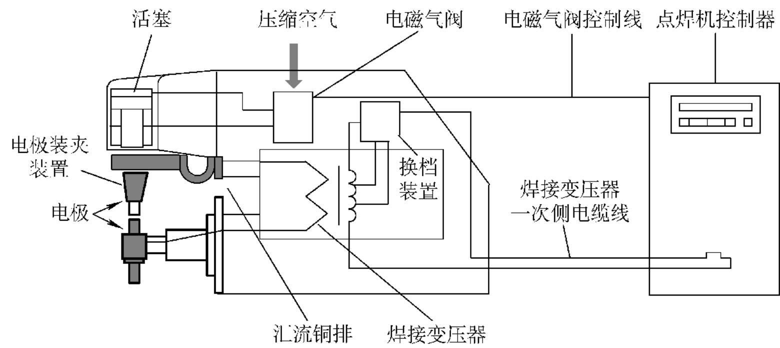


图7-51 点焊机的系统构成

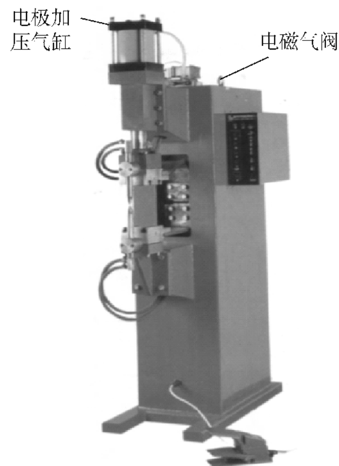


图7-52 通用型点焊机的加压系统

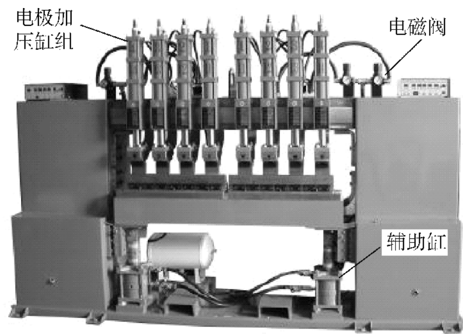


图7-53 一种多气缸的多点焊专机

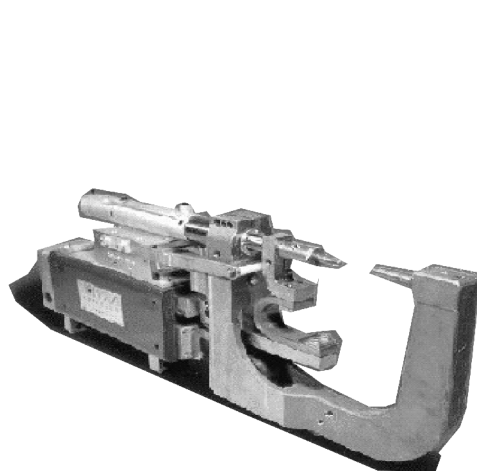


图7-54 气动一体式C型点焊钳



图7-55 伺服电动机驱动的X型点焊钳

一般的电阻点焊机，往往使用一只气缸就够，但焊件上的焊点即多又密时，为提高生产率，在工艺上通常采用多点焊。而多点焊机使用多电极的多气缸（或多液压缸的）加压系统（图7-53）。

综上，点焊设备中，对电极加压的控制往往归结为对气缸或液压缸的控制。而气液缸中活塞杆的上下运动是受控于压缩空气气路（或液压回路）中的各电磁气（液）阀（图7-56）。图7-57、图7-58是用三通电磁气阀控制气缸中活塞杆上下运动的气动原理：电磁气阀未通电时，电磁气阀的动铁被复位弹簧置为原位。而原位时的三通气阀的滑动阀杆接通气缸的“上”气室，亦即使加压电极抬起的气室；电磁气阀通电时，电磁气阀的动铁按图7-57中箭头所指方向动作，使三通气阀的滑动阀杆接通气缸的“下”气室、活塞杆向“下”运动，从而产生电极加压动作。



图7-56　一种电磁气阀的外形

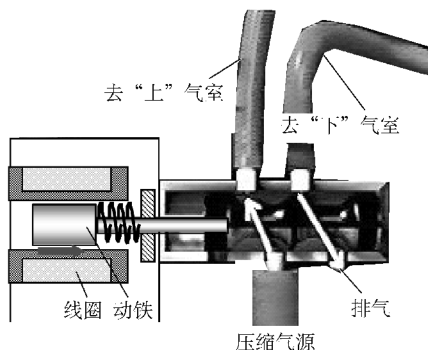


图7-57　电磁三通气阀的结构

从自动控制系统的角度看，像电磁气（液）阀类的器件，称为开关器件，因为它们的工作状态只有“通电”（“ON”）和“断电”（“OFF”）两态。而对这种器件电控制，就是所谓开关量控制。对于非标准的有多开关量控制的电阻焊设备，诸如各种专用多点焊机、包括复杂的焊件装夹系统在内的各种专用点焊机、缝焊机、凸焊机、以及汽车焊装线上的诸多焊装工位，对电极加压控制系统的控制，现代大都趋向采用可编程控制器（PLC）。图7-59是用PLC实现多气（液）缸、伺服电动机控制系统的构成简图。

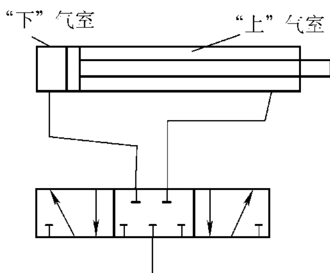


图7-58　三通气阀与气缸的气路

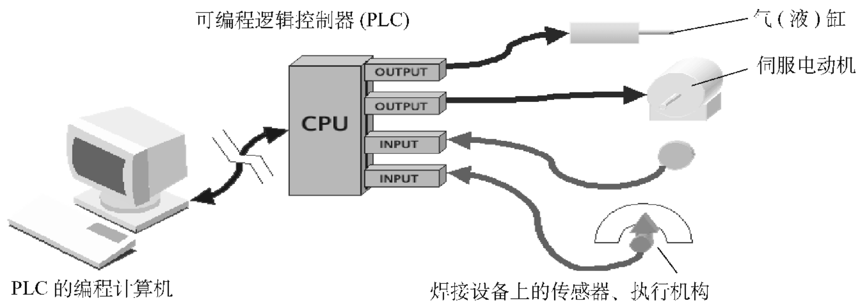


图7-59　用PLC实现多气（液）缸、伺服电动机控制系统

2. 焊接电流控制系统

（1）焊接电流对电阻点焊接头质量的重大影响　从电工学中的焦耳-楞定律：$Q=0.24I^2RT$（J）得知：一个电阻值为R（Ω）的电阻元件，当通过其上的电流为I（A）（有效值）、通电的时间为T（s），则它产生的电阻热量［焦耳（J）］就应如上式表示。

即当电阻值 R 确定后，电阻产热的多少与通电时间 T 成正比、而与电流的平方成正比。例如，原为 1A 的通电电流，现增加 1A 变为 2A，即电流增至原电流的 2 倍，可是电阻的产热，却是原产热的 4 倍。这是在电阻焊工艺中，极为重视对焊接电流，即流过电阻焊焊件上的电流进行严格控制的物理原由。

（2）恒焊接电流控制器工作原理　在现代的点焊机中，特别是大量采用点焊工艺的汽车车身点焊设备中，为确保点焊接头的质量，几乎全都采用基于微［简称微机（μP 具有恒焊接电流（CONSTANT CURRENT）］控制功能的控制器（图 7-60、图 7-61）。

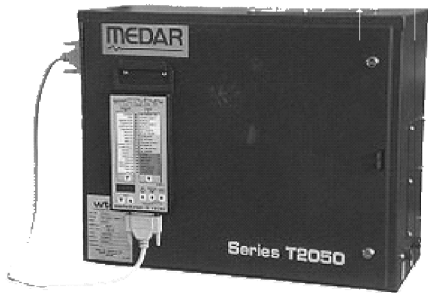


图 7-60　上海－MEDAR 点焊恒电流控制器

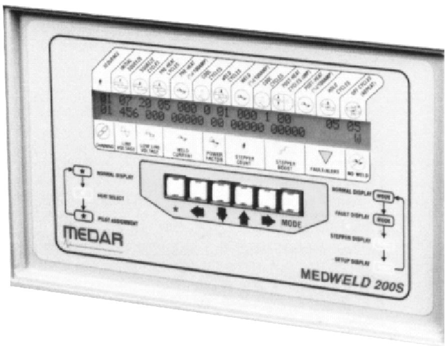


图 7-61　MEDAR（美）点焊恒电流控制器

下面，介绍恒焊接电流控制器的基本工作原理、控制功能和控制参数。

所谓恒点焊电流焊接，有以下两个含意：一是从焊接电流对焊点产热有重大影响的启示出发，自然想到对焊件上的所有焊点用相同的给定焊接电流 I（这个给定焊接电流是通过大量工艺实验得到的规定参数值）施焊，才能使所有熔点的熔核尺寸大小一致。

二是不论给定的通电时间为多少个周波数（即 20ms 的倍数），在对某个焊点的通电过程中，要求焊接电流能补偿由于电网电压的瞬间变化（与额定的 380V 电网电压的上下偏差），即维持给定焊接电流 I 不变。

微机点焊恒电流控制器系统结构如图 7-62 所示。

控制器是利用微机的快速计算能力实现点焊晶闸管相控调压电路的“逐周相控调压”方式。为此，控制器的控制软件（一般存放在微机的 EPROM 中）的电流控制程序是以电网电压的的一个周期（20ms）为控制周期，实时地跟踪负载功率因数角 ϕ 和电源电压 U_s 的变化，并实时测量、计算出焊接电流 I_w 或一次电流 I_1 本周的有效值并与给定有效值比较，得出偏差值，然后微机根据这一偏差值给出下一个周期应有的晶闸管点火角 α 值或晶闸管点火角 α 的增量值，从

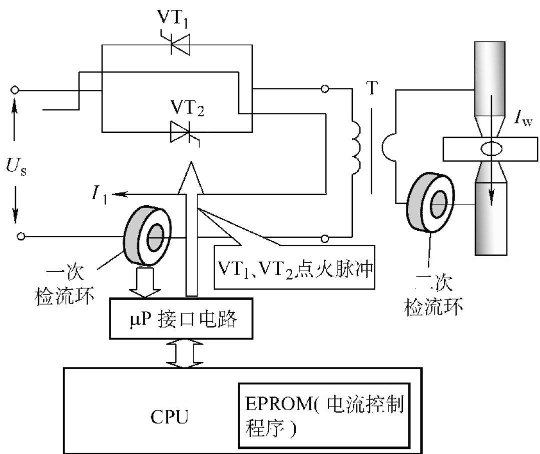


图 7-62　点焊工频 SCR 交流调压电源微机（μP）恒电流控制系统的结构

而实现电流的恒流控制。

用微机控制软件实现电流的恒流控制的一般步骤主要包括：

第一步：在电网电压的第一半周（电网电压的第一半周的定义如图7-63所示）由微机发出确定的点火角 α_1（如120°）的点火脉冲去触发晶闸管对 VT_1、VT_2（晶闸管对 VT_1、VT_2 的实物如图7-64所示），从而得到导频电流 I_1（导频电流 I_1 的定义如图7-63所示）。

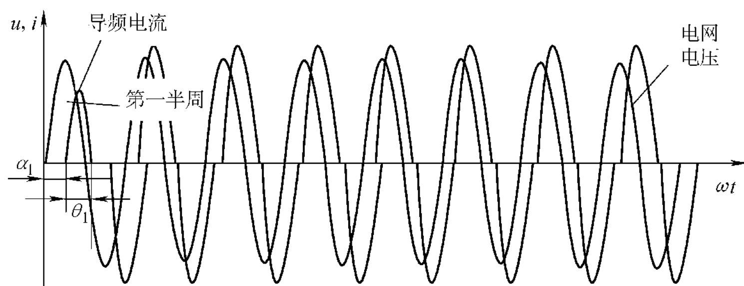


图7-63 微机（μP）恒电流控制时的电流控制波形

第二步：利用微机的定时－计数器测量出对应导频电流 I_1 的晶闸管导通角 θ_1。

第三步：查 $\phi=f(\alpha,\theta)$ 函数表（事先用大型计算机进行了赋值运算，作成数表形式后，存储于微机的EPROM中），求得该焊点的负载功率因数角 ϕ_1。

第四步：利用微机测量出导频电流 I_1 的峰值电流 $[I_m]_1$。

第五步：查 $[I_{Pm}]=f(\alpha,\phi)$ 函数表（事先用大型计算机进行了赋值运算，亦作成数表形式，存储于微机的EPROM中），求得 $[I_{Pm}]_1$（$[I_{Pm}]_1$ 称为归一化、或百分数电流峰值）。

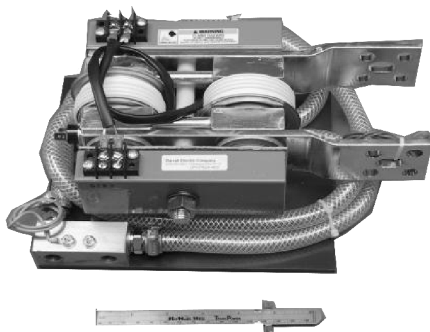


图7-64 微机恒电流控制器的控制对象——晶闸管对

第六步：查 $[I_P]=f\{[I_O],[I_m],[I_{Pm}]\}$ 函数关系表（事先用大型计算机进行了赋值运算，作成数表形式后，存储于微机的EPROM中），求得 $[I_P]$（$[I_P]$ 称为归一化或百分数电流有效值；而 $[I_O]$ 就是给定的焊接电流有效值）。

第七步：查 $\alpha=f([I_P],\phi)$ 函数表（事先用大型计算机进行了赋值运算，作成数表形式后，存储于微机的EPROM中），得出第二周的晶闸管点火角 α_2。

以上这七步要求微机在焊接通电的第一周内完成。

第八步，用 α_2 的值去点火晶闸管。

而后，从第三周开始直到焊点通电结束，都是第四步到第八步的重复循环，从而实现了一个焊点的恒电流微机控制。

在上述各步中，没有进行积分和复杂的运算，只是通过查表即可算出控制角 α 和百分数电流有效值，这就显著提高了微机运算速度和系统控制实时性。

另外，微机恒电流控制器中，之所以采用归一化或百分数电流的概念，是因为引入归一

化电流概念后，可大大简化微机的电流数据量，带来的好处是不言而喻的；而采用峰值电流概念，是因为峰值电流容易用检流器检测、且检测速度快。

微机恒电流控制器对电网电压波动补偿原理如图 7-65 所示。其控制思想是：一般焊接给定电流［I_o］给定后，如果电网电压总是保持额定的 380V 不变，当然就可用不变的点火角 α 触发晶闸管对；但电网电压一般总是处于不断（在额定电压的上下）波动的状态。当电网电压升高时，令微机恒电流控制器发相位后移的点火角 $\alpha+\Delta\alpha$ 触发晶闸管，于是得到电流峰值虽高，但导通时间则短的焊接电流，从而使电流曲线下的面积与额定电网电压时的电流面积相等；电网电压降低时的情况正好与上相反。结合图7-65，不难理解电网电压波动补偿原理。

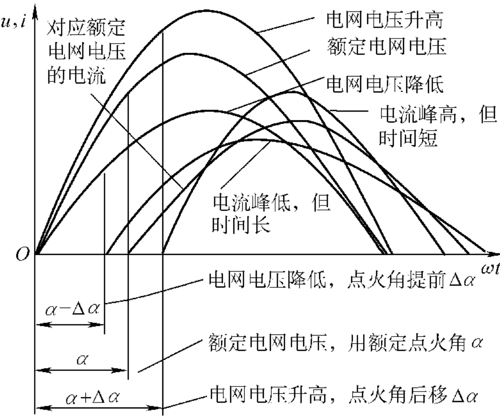


图 7-65　微机恒电流控制器的电网电压波动补偿原理

（3）掌握典型点焊恒电流控制器的技术性能与参数　下面，以梅达（美 MEDAR）公司（我国上海 – MEDAR 公司也引进了相关技术）的点焊恒电流控制器（图 7-60、图 7-61）为例，说明其控制器的技术性能与参数。

MEDAR 公司生产的点焊控制器，除了恒一次电流（安装一次检流装置）控制外，还可以选用恒二次（安装二次检流装置）电流控制。

控制器内，采用一个工作频率为 16MHz 的 16 位 Motorola MC68HCZL 微处理器，每秒钟能执行 4000000 条以上命令，因此能快速精确测量与控制电流和时间。

其控制软件的设计可保证在很宽广焊接条件范围内都能得到十分精确和稳定的恒电流算法，因此是得到高质量焊点又保持低成本的有效技术措施。

控制器通过数据输入板来编写程序、设定焊接程序参数、电流递增器参数；还可显示点焊机的故障信息、递增器信息、最后一次焊接电流显示或启动的顺序显示等；控制器的箱体设计体积小、操作方便；电路系统的抗电磁干扰的能力好，一般很少误动作。

表 7-1 中所列数据是上海 – MEDAR 产 T2050 系列三个型号点焊恒电流控制器技术参数。

表 7-1　T2050 点焊恒电流控制器技术参数

项　　目	参　数　值
可控制晶闸管对的电流	500A；800A；1100A
可控制焊接变压器的最大短路功率	520kV · A ；8400kV · A ；11500kV · A
电网电压自动补偿模式时的电流控制精度	当电网电压变化为额定值 ±10% 时，输出电流变化 <2%
恒电流触发模式	当电流电压变化为额定值 ±15% 或二次阻抗变化为 ±15% 时，输出电流变化 <3%

（续）

项　　目	参　数　值
补偿响应速度	一周达到设定值
预压、加压、冷却、维持、休止程序的可调周波数	0 ~ 99
预热、焊接、焊后热处理脉冲可调周波数	0 ~ 99
恒电压或电网电压	20% ~ 99%
恒电流模式补偿范围	0.01 ~ 99.9kA
电流递增器	4 个
电流递增器阶梯级数	2

T2050 系列产品的功能还包括：

1）最多可编写 60 套焊接程序。

2）除焊接电流自动补偿即恒电流 ACC（Automatic Constant Current）模式可选用电网电压自动补偿即恒电压 AVC（Automatic Voltage Constant）模式。

3）缝焊模式包括滚点焊和连续缝焊，还有钎焊模式。

4）可同时接通 1 ~ 4 个气阀。因此除电极加压气阀外还可接通夹具加压气阀和其他控制气阀。

5）焊接程序可以连锁。当前一个程序执行完毕后，不必等电极放松，直接转入执行下一个连锁程序，根据需要可将多个程序连锁使用。

6）焊接程序可以链接。当前一个程序执行完毕后，再次启动时就执行另一个链接程序，根据需要可将多个程序链接使用。

7）将多个顺序编排成连锁和链接后，可完成对某一个焊件的多道焊接程序，包括焊件定位和夹紧。

8）有焊点计数及焊件计数功能。

9）能显示 7 种故障（急停、晶闸管对短路或失电、过热、晶闸管对单边触发、电压或电流补偿超限、焊接电流下限、递增器结束）。

10）有 4 个电流递增器，每个递增器有 2 个台阶。

11）有 4 级安全锁定功能，限制程序参数修改权限。

12）有联网功能，可连接 24 台 T2050 控制器。

图 7-66 是 MEDAR 点焊恒电流控制器控制面板的英文标识的中文含义：

3. 点焊恒电流控制器的局限性

点焊恒电流控制器有良好的恒电流控制性能。图 7-67 是对多个焊点施焊时，所得到的电网电压波动实验曲线；图 7-68 是同一实验中，采用开环焊接（不加恒流控制）时的二次焊接电流的实验曲线；而图 7-69 是有恒流控制时的二次焊接电流的实验曲线。显而易见，恒流控制对电网电压波动的补偿效果。但这是由每个试件上只有一个焊点的实验结果。

而在实际应用中，焊件的结构千变万化。例如图 7-70 所示的已焊焊点对正在焊接的焊点的分流影响，从原理上讲，点焊恒电流控制器就无法补偿。

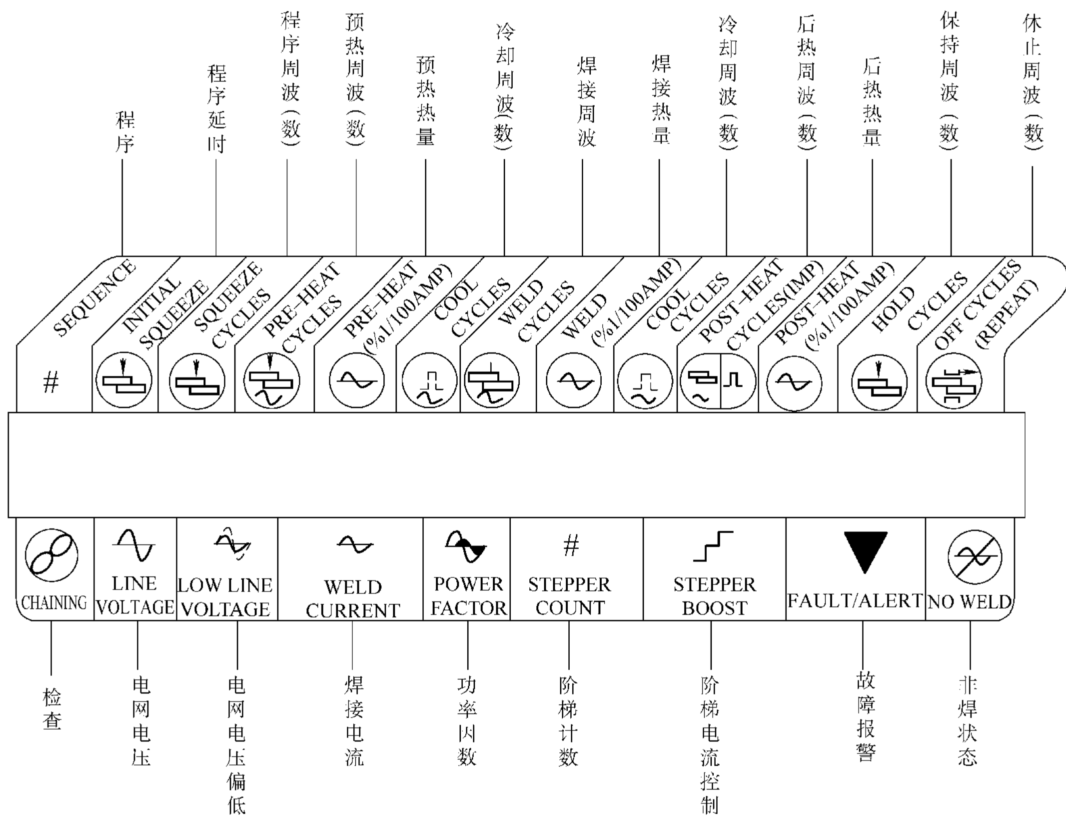


图 7-66　点焊恒电流控制器控制面板的英文标识

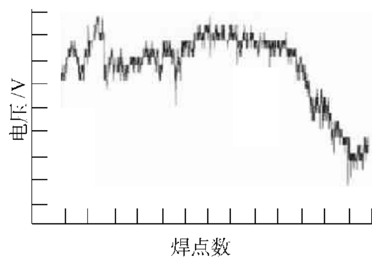


图 7-67　电网电压波动实验曲线

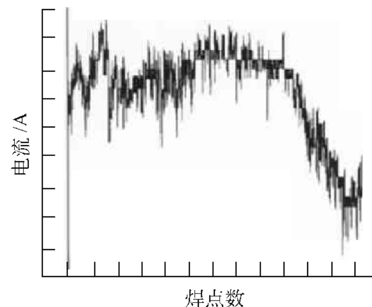


图 7-68　采用开环焊接（不加恒流控制）时的二次焊接电流的实验曲线

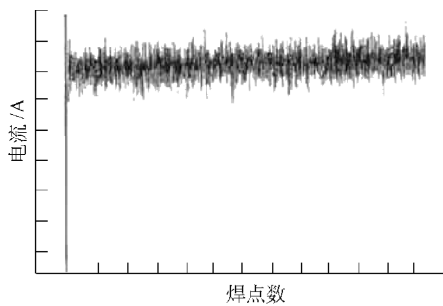


图 7-69　有恒流控制时的二次焊接电流的实验曲线

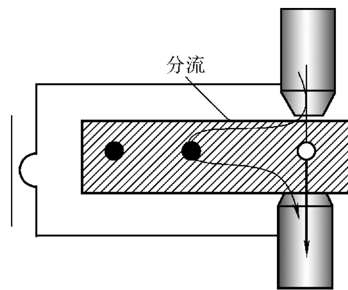


图 7-70　焊点的分流

实际点焊时，当所焊焊点达到某一数量后，电极端部就会镦粗（图7-71），而电极端部镦粗会造成流经焊点电流流线的发散，其结果是焊点的几何尺寸和焊接强度变小。如果仍以不变的恒定电流焊接，势必造成产品焊接质量的下降。

点焊恒电流控制器也无法补偿由于电极端部镦粗而造成的焊点电流密度的减小。为克服焊点分流影响，国外已有能检测焊点动态电阻变化的点焊控制器。

对电极端部镦粗，可采用对焊点计数，达到一定计数值，则报警，提醒更换电极。

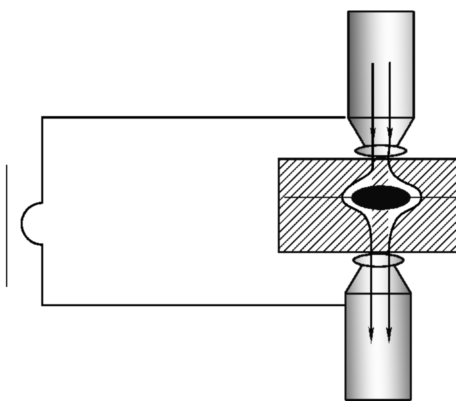


图7-71　电极端部镦粗造成电流发散

要点182　点焊电极的使用要点

点焊的电极对焊接质量的影响是很大的，同时也是易损件。这里从电极的使用角度，阐述点焊电极的应用技术要点：

1. 电极端头的类型与使用特点

1）截头锥形［Truncated Cone（图7-72a）］这是点焊时最常用类型，主要使用特点是焊点的压痕深度适当，电极的再修磨简单。主要缺点是由于端面棱角处很快变钝，端面与焊件的接触面是变化的，这就容易引起焊点焊接参数的变化，从而使焊点质量不够稳定。

2）弧面截头锥形［Arc Top Truncated Cone（图7-72b）］弧面截头锥形是针对平截头锥形的缺点而改进的电极端头形式。缺点是电极手工再修磨不容易达到制造商供货水平。

3）球面形［Spherlcal（图7-72c）］主要使用特点是压痕较深，但因此而能保持点焊接参数的稳定，适于较厚钢板的点焊。

在汽车车身焊装线上，点焊工位的上下电极总数量达4000～5000只是很平常的事，可想而知，合理选择点焊电极端头的类型与电极材料本身质量，是与焊接质量有重要关系的点焊工艺问题。

但质量再好的电极，经过多则几千点、少则几百点的使用后都要磨损（图7-73），为此，对一些大型汽车车身制造厂，都设有点焊电极备件供应部门。这些电极供应部门的主要任务并非是采购批量电极、而是用专门的电极修复设备修复从焊接线上退下的磨损电极。

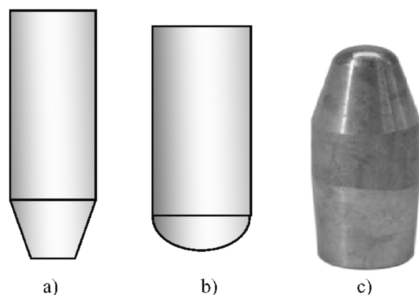


图7-72　常见电极端头的类型
a）截头锥形　b）弧面截头锥形　c）球面形



图7-73　电极端面的磨损

2. 电极的材料

电极端部既要将上万安的电流传递给焊件，又要承受压力，电极端部工作在高温承载的状态。一般要求它高温（400～500℃）时，在保持良好导电性的同时、又具有一定高温硬度。

电极一般用铜合金材料制成，Cr（铬）、Zr（锆）是电极铜合金的主要高温硬化合金元素。而电极的高温硬度曲线（图7-74）和软化起点温度曲线（图7-75）是衡量电极质量好坏的两项关键指标，做为电极的用户应要求制造商提供该曲线。

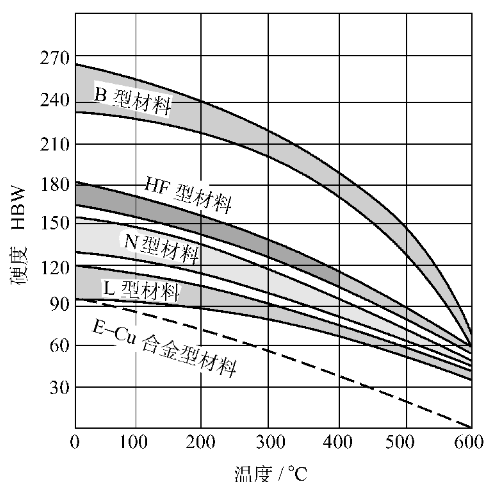


图7-74　电极的高温硬度曲线

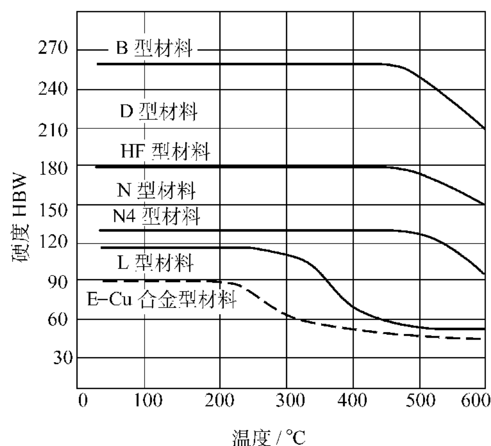


图7-75　电极的软化起点温度曲线

3. 镀锌（Zinc）钢板点焊用电极与点焊工艺要点

近年来，镀层碳钢板，特别是镀锌钢板在汽车车身与部装件中有较多应用。与无镀层碳钢板点焊相比，镀锌钢板点焊主要有两点不同：

一是在通电加热时，由于锌的熔点低（约420℃），焊件间的锌层先于钢板熔化，在压力的作用下将随之排挤出焊接区域，形成一个锌的圆环，并将熔核包在其中。由于“锌环”的分流作用，因而需要更大的焊接电流，以及适当增大的电极压力和焊接通电时间。

二是通电时，熔化的锌与电极会相互作用，在电极表面形成一合金层，同时一些氧化锌也会粘附在电极上，结果急剧降低了电极的使用寿命，并使焊点焊接质量恶化。

镀锌钢板焊接研究的结论是：点焊镀层碳钢板，除要提高电流之外，如采用上升斜率电流的加热方式（图7-76）可提高30% 的电极寿命，上升周波为4～6。

采用上升斜率电流的加热方式时，在电流达到最大值前，镀层金属就开始熔化并被排开，使得电极能够直接与焊接金属相接触，这样就减轻了电极与锌间的合金化，也减小了电极与工件间的发热，故可改善电极寿命。

而镀锌钢板的点焊用电极，从表面上看与一般无镀层碳钢板点焊电极没有区别，但其使用性能与寿命，不同厂商品牌的电极表现有很大区别。性能好的电极，其制造技术往往是电极制造商的核心机密。例如国外的知名品牌的镀锌钢板的点焊用电极，也都标明了电极合金材料的种类，但是具体的合金配比和电极制造工艺则为专利。不同品牌的电极寿命可相差几倍。

再如图7-77所示的适用于铝合金板材点焊的含Ti电极，都属专利配方与制造工艺。

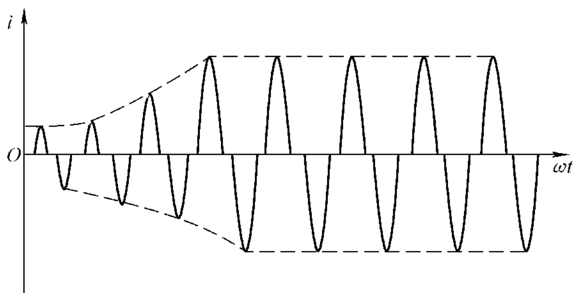


图7-76　镀锌钢板的点焊采用上升斜率电流

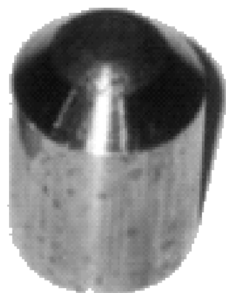


图7-77　铝合金点焊的含Ti电极

要点183　掌握点焊机器人焊钳的类型和应用要点

点焊机器人是持握点焊焊钳的工业机器人，作为点焊机器人的用户，必须从应用的角度，对点焊机器人持握的点焊焊钳的类型、性能、应用特点、特别是在汽车车身及部件焊装线上的应用有深入了解，以便做到正确选择、合理使用和维护车身焊装线。

1. “一体式”焊钳

现代点焊机器人用的焊钳都是所谓“一体式”焊钳，“一体式”指焊钳的两电极臂与焊接变压器、变压器二次侧汇流铜排制成一体（图7-78）的结构形式。

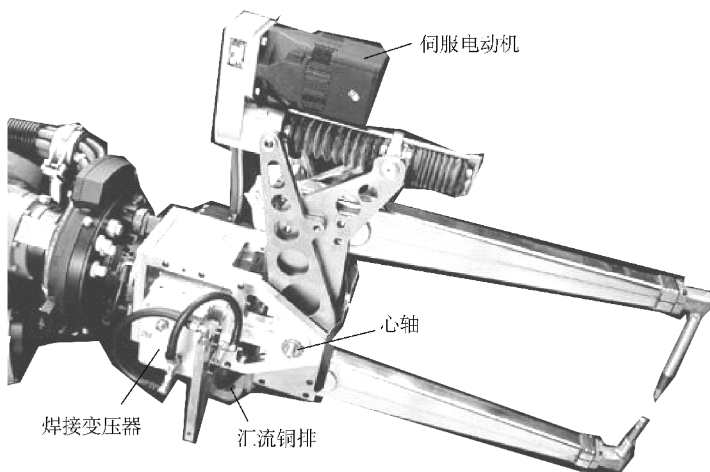


图7-78　一体式长臂型钳

由于采用了一体化焊钳，焊接变压器装在焊钳后面，然后由点焊机器人的“手”持握，所以变压器必须尽量小型化。

对于容量较小的变压器可以用50Hz工频交流，而对于容量较大的变压器，已经开始采用逆变技术把50Hz工频交流变为600～700Hz交流，使变压器的体积减少、减轻。

变压后可以直接用600～700Hz交流电焊接，也可以再进行二次整流，用直流电焊接；焊接参数由定时器调节。新型定时器已经微机化，因此机器人控制柜可以直接控制定时器，无需另配接口。

按电极臂的驱动形式，点焊机器人的常用驱动形式为“气动”和“电动机伺服驱动”。

“气动”使用压缩空气驱动“加压气缸”活塞，然后由活塞的连杆驱动相应的传递机构带动两电极臂闭合或张开。

气动焊钳两个电极之间的开口度一般只有两级冲程。而且电极压力一旦调定后是不能随

意变化的。

而“电动机伺服驱动”是使用电动机通过连接机构带动两电极臂的闭合或张开。

2. X 型焊钳及应用

图 7-79 所示的就是一种 X 型焊钳。X 型焊钳的结构特征是：工作时，焊钳的两电极臂以心轴为支点可同时张开或闭合。

X 型焊钳依两电极臂的长短，又可分为：长臂（图 7-78）、中长臂（图 7-79、图 7-80），短臂 X 型焊钳（图 7-81）。

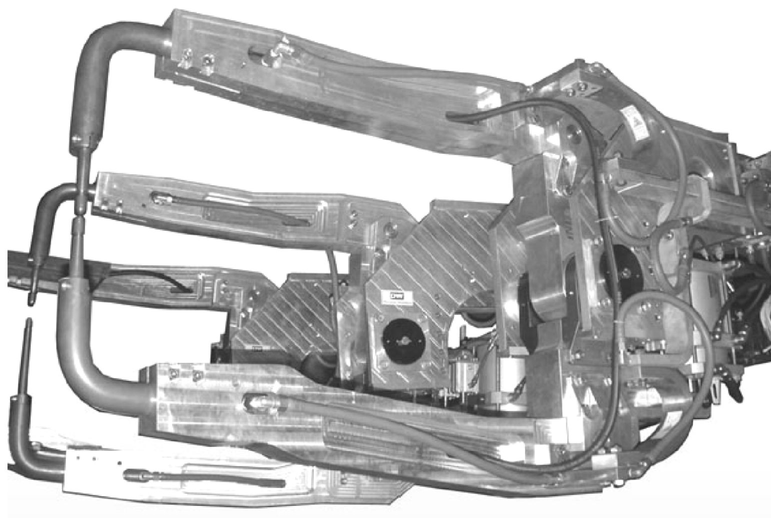


图 7-79　中长臂 X 型焊钳（STRYVER）

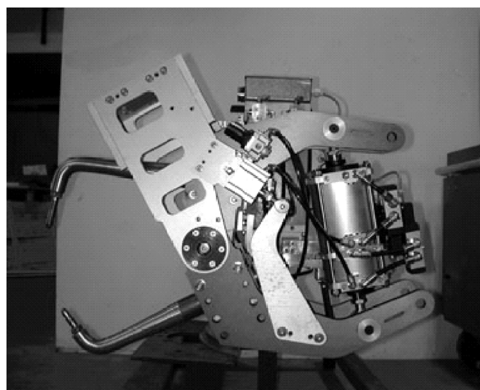


图 7-80　中长臂 X 型焊钳

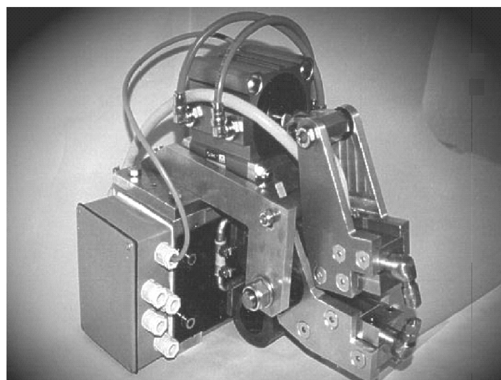


图 7-81　短臂 X 型钳

短臂 X 型焊钳的特点是：由于焊接变压器的二次侧短，二次侧电感很小，因此焊接变压器二次侧可输出大电流，这就特别适用于较厚板或三叠以上接头的焊接，但要考虑电极开口能否容下接头；由于焊钳的臂短，对焊件的电极压力，可以利用杠杆原理使加压气缸（或电动机伺服）传动的力增大；而长臂焊钳是减小传动力。

由与长时工作会引起电极发热，所以焊钳都需要具备电极冷却系统。

长臂型焊钳主要应用在那些位于焊件中间部分的焊点的点焊。例如车身底板的点焊（图 7-82），车身前窗框的点焊（图 7-83）。

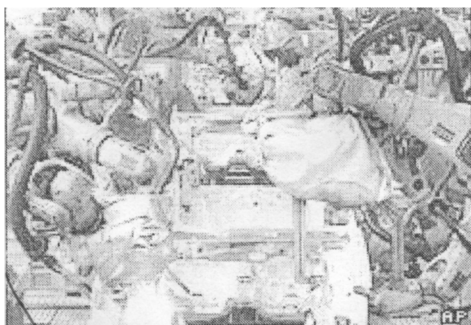


图7-82 车身底板的点焊

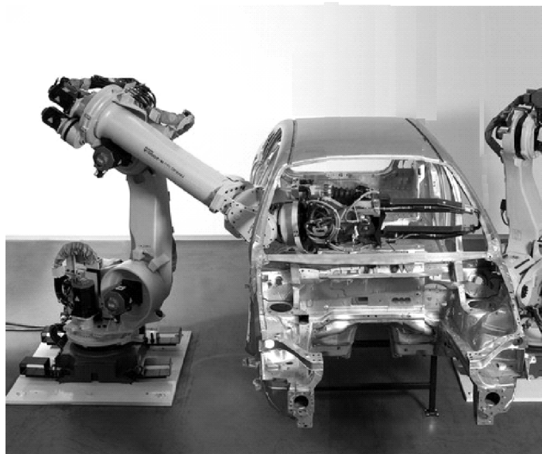


图7-83 X型长臂焊钳焊接车身前窗框的点焊

中长臂X型焊钳在车身点焊中是应用最多的形式，主要用于车身总成合拼焊的侧围窗框部位的周边焊点的焊接，如图7-84所示。

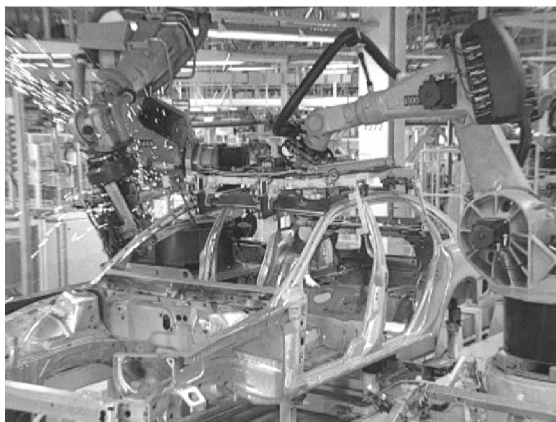


图7-84 X型中长臂焊钳在车身前门框的应用

3. C型点焊钳及应用

C型点焊钳的外形如图7-85所示。其特点是只有一个动电极，因此结构简单，适用于焊件部分会伸入焊钳二次回路内的场合；C型点焊钳的C状部分要有足够的抗挠弯强度。

而C状部分要有多种几何尺寸，以供用户根据工件选取，同时，C状部分还要有良好的冷却，注意图7-85中的水冷管。

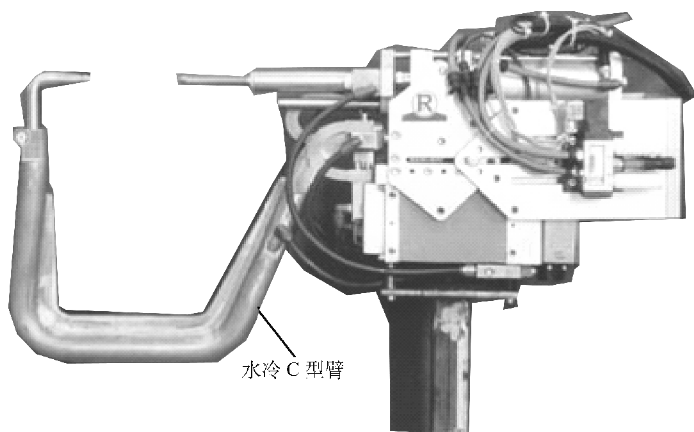


图7-85 C型焊钳的外形

C型焊钳的C形结构有铜合金圆截面锻造结构（图7-86）和铜合金异型截面结构两种形式（图7-87）。



图 7-86　铜合金圆截面锻造结构 C 型焊钳点焊机器人（ABB）

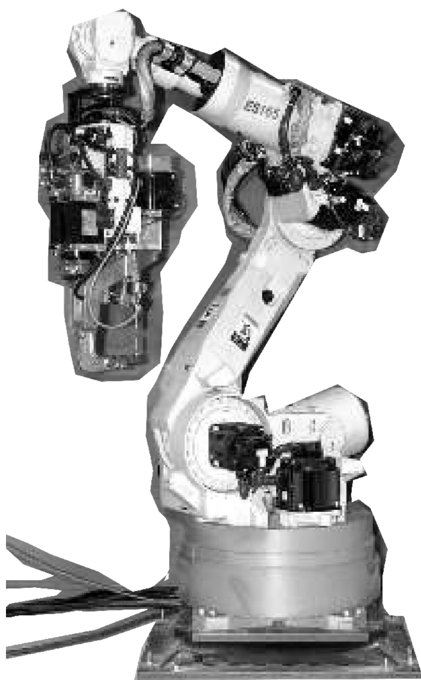


图 7-87　铜合金异型截面结构 C 型焊钳点焊机器人（MOTOMAN）

C 型焊钳的主要特点是电极压力较大并稳定，但不如 X 型焊钳灵活。例如持握特大型 C 型点焊钳的焊接机器人。

C 型焊钳最适合处于较为边缘位置的焊点的焊接，例如车身顶盖与车前窗上部位的焊点，如图 7-88、图 7-89 所示。

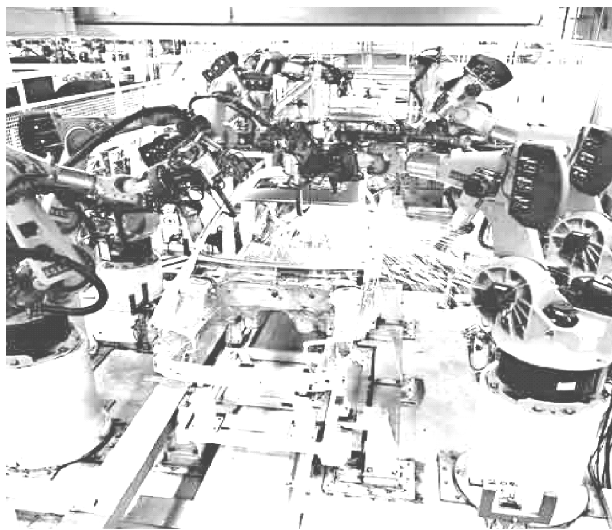


图 7-88　C 型焊钳适合处于较为边缘位置的焊点



图 7-89　处于原位的 C 型焊钳的机器人

4. P 型点焊钳及应用

P 型点焊钳（图 7-90）与 X 型点焊钳结构相近，但开口是最小的一种。P 型焊钳的点焊机器人最佳工作姿态如图 7-91 所示，因此适用于处于基本水平方位、同时靠边缘的焊点。

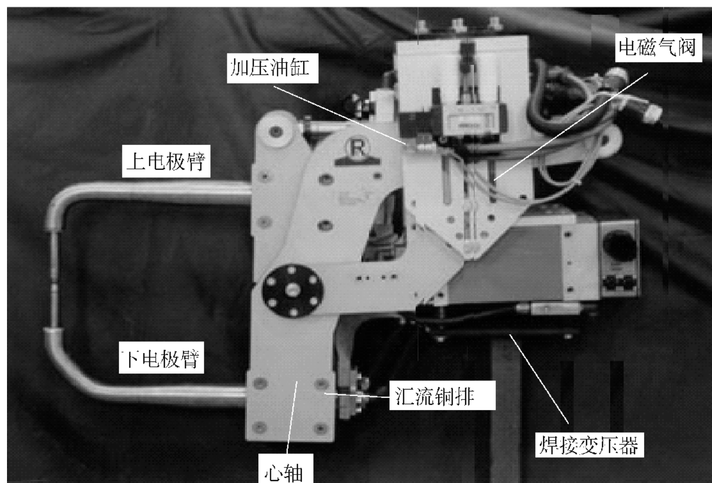


图 7-90　P 型点焊钳的结构

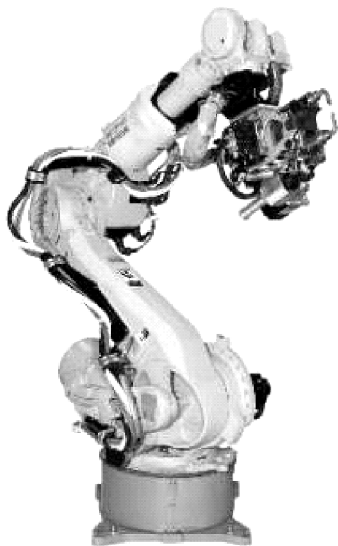


图 7-91　P 型焊钳点焊机器人最佳工作姿态（MOTOMAN）

5. 伺服型焊钳

“电动机伺服驱动” 的焊钳简称为 “伺服焊钳”，“电动机伺服驱动” 是利用伺服电动机（图 7-92）通过相应的力变换机构带动两电极臂闭合或张开，是近年开发的一种可提高焊点质量性能较高的机器人用焊钳。



图 7-92　伺服焊钳点焊机器人（FANUC）

焊钳的张开和闭合由伺服电动机驱动，脉冲码盘反馈。这种焊钳的张开度可以根据实际需要任意选定并预置，而且电极间的压紧力也可以无级调节。

这种新型电伺服点焊钳具有如下优点：

1）每个焊点的焊接周期可大幅度降低，因焊钳的张开程度是由机器人精确控制的。

2）机器人在点与点之间的移动过程中、焊钳就可以一边张开，机器人一边位移，不必等机器人到位后焊钳才张开或焊钳完全张开后机器人再移动。

3）焊钳张开度可以根据工件的情况任意调整，只要不发生碰撞或干涉，尽可能减少张开度，以节省焊钳开合所占的时间。

4）焊钳闭合加压时，不仅压力大小可以调节，而且在闭合时两电极是轻轻闭合，减少了撞击变形和噪声。

要点 184　了解点焊机器人的换钳技术及应用

由上述点焊机器人焊钳类型及应用看出：为了焊接车身的某部位就必须使用不同类型的点焊机器人，即点焊机器人都是专“人”专“职”。随着车身焊装线多年应用经验及焊接机器人技术的发展，现在已经使点焊机器人可一“人”兼“二职”，以节省机器人焊接工位的空间和焊装线的成本。例如图 7-93 中的 KUKA 点焊机器人工位具有短时（不超过 30s）更换两种型号焊钳的功能。这主要得益于由 ATI 公司开发的一种快速更换法兰接头技术（图 7-94）。

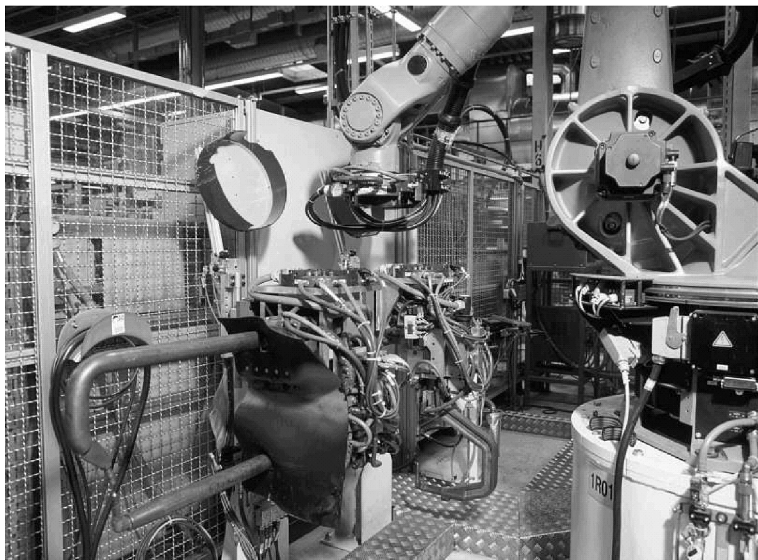


图 7-93　KUKA 点焊机器人的可更换焊钳

要点 185　注意某些多点焊并不适宜选用点焊机器人

几何尺寸不大、但焊点密集的多点焊部件不适宜选用焊接机器人。

仍以汽车白车身零部件为例：像车门之类部装件总成的焊装，就不宜选用点焊机器人，而以多点焊专机为最佳，理由是：一是多点焊专机生产率高、而单台造价低；二是对几何尺寸不大、但焊点密集的部件，多点焊专机有电极安排简便紧凑的技术优势，如图 7-95、图 7-96 所示。

要点 186　了解机器人点焊必须有高精度焊装夹具的配合

对任何使用焊接工艺成形的结构件，焊装夹具始终是焊接装备中极为重要的组成部分，



图7-94　可快速更换焊钳的法兰接头（ATI）



图7-95　车门总成多点焊工位

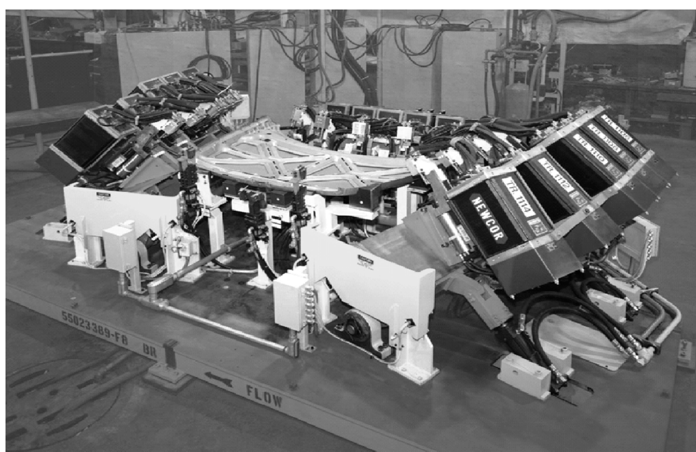


图7-96　车身前盖总成多点焊专机

因为焊接装夹具起着被装配件的定位、装夹和减小结构焊接变形的重要作用。

特别是对汽车白车身总成、及其他汽车零部件的点（定）焊来说，其焊接后的尺寸精度主要取决于焊装夹具的制造精度。因此对车身焊装线上所有焊装夹具，一般都有较高的精度要求（图7-97、图7-98）。而对夹具上决定被装夹焊件定位的构件，如定位面、定位销、

定位挡块的加工、安装位置精度的要求则更高。

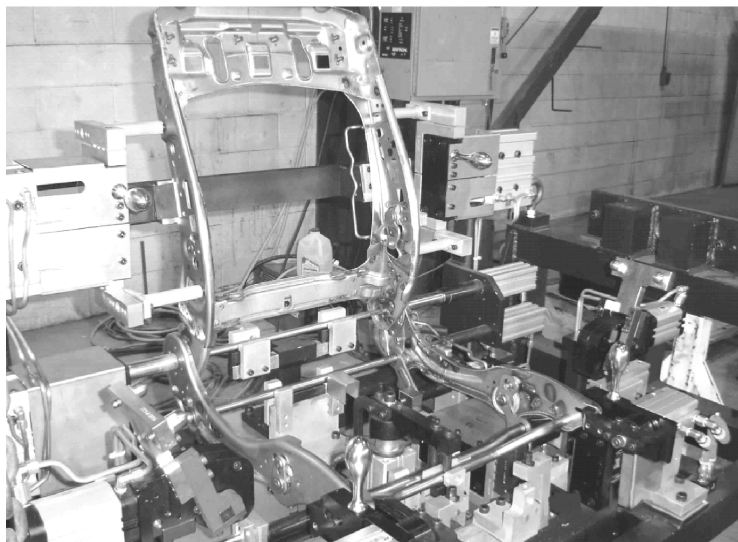


图7-97　用于汽车车身零部件的焊装夹具



图7-98　用于汽车车身零部件机器人点焊的装夹具

要点187　掌握常见点（定）焊装夹具的类型

1. 翻转支架型焊装夹具

翻转支架型焊装夹具的结构特点是：外观上具有一个可围绕水平轴旋转的框架，焊件定位、装夹在框架上。然后由机器人对焊件上正反两面（一般多为短、直）焊缝进行焊接。翻转支架可360°旋转，但一般转到某个预先确定角度就停下来，多以使焊缝处于水平位置为最佳，以利机器人施焊（图7-99、图7-100）。

对于结构复杂焊件，可采用多机器人同时在多个位置上施焊，其主要目的在于减小焊接结构的变形（图7-101）。

图7-102显示了翻转架型焊装夹具的主要结构，如定位销、定位挡块、气动夹头或气动顶出机构等。焊装夹具上很多部位采用铜合金材料，因这些部位都是焊接电流的导入点。

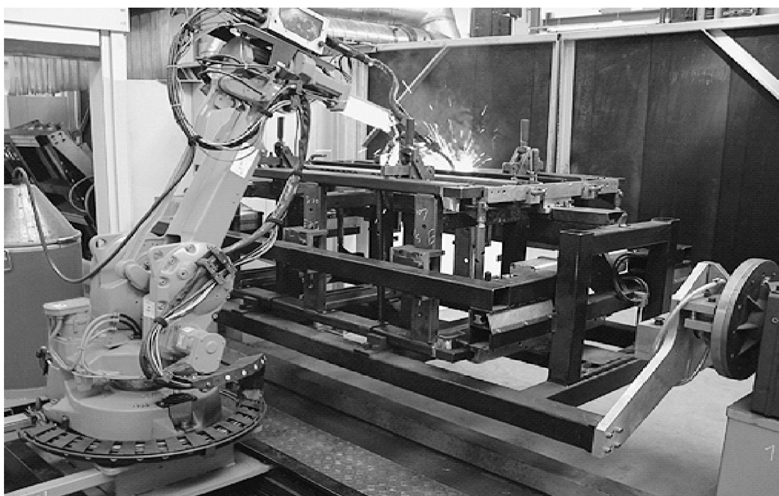


图7-99 翻转支架焊接工位

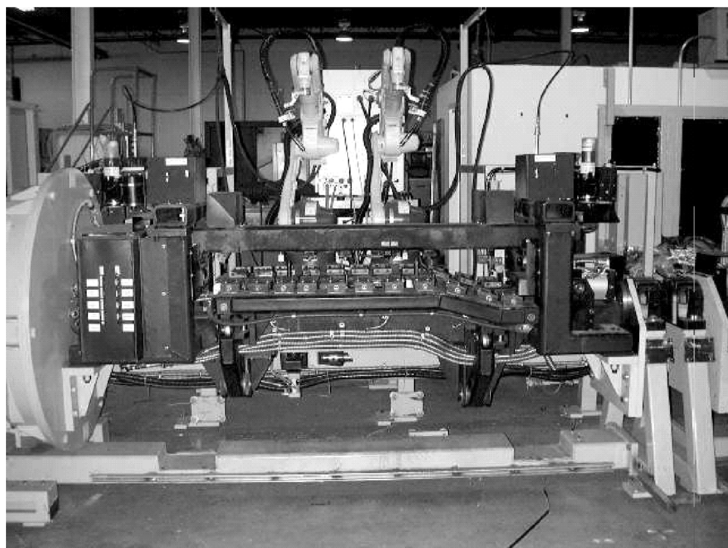


图7-100 翻转架上梁型件的焊接

2. 旋转“车床”型焊装夹具

旋转“车床”型的装夹具的结构特点是：该设备中，主要设计了一个类似车床上可匀速旋转的卡盘（图7-103）。焊件装夹在卡盘上，驱动卡盘以焊接速度匀速旋转。于是焊接机器人可对焊件上的环缝施焊。

旋转“车床”型焊装夹具特别适合于轴类零部件的焊接如图7-104所示。

有的“车床”型夹具的卡盘设计成“仰位型”，配合机器人后则可焊接焊件上的马鞍形环缝（图7-105）。

在弧焊机器人的焊枪上加装焊缝激光跟

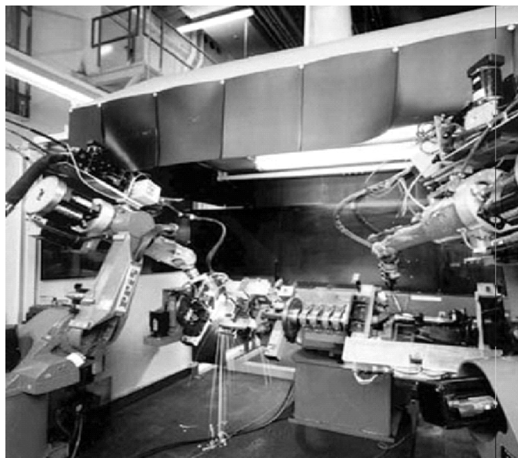


图7-101 翻转架与三机器人的组合

踪传感器，加上焊枪的偏摆动作，就可对焊缝较宽、质量要求高工件上的环缝施焊(图 7-106)。



图 7-102　翻转架焊装夹具的细部结构

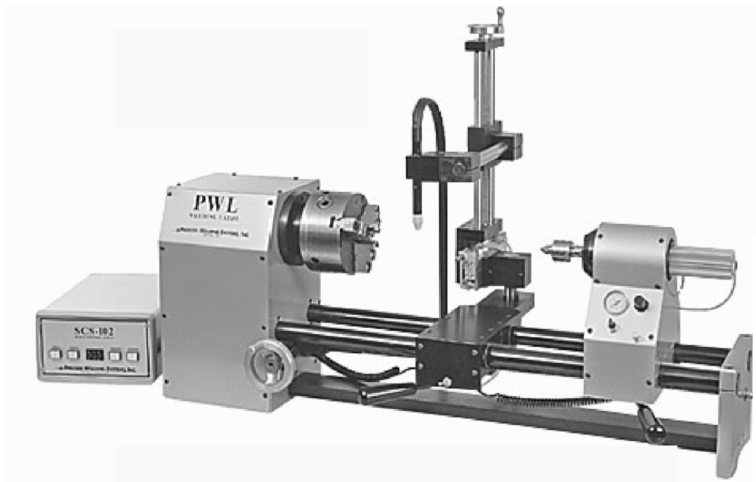


图 7-103　旋转“车床”型焊装夹具

3. 多立柱支撑装夹型焊装夹具

多立柱支撑装夹型焊装夹具的外观如图 7-107 所示。顾名思义，设备上，主要由一般是钢制结构的立柱组成，立柱的顶端安装的主要机构是定位销、定位挡块、气动夹头或电磁吸头。被焊装的零部件一般是水平安放到多立柱支撑形成的（一般是三点定位原则）定位面上。为防止被焊工件在焊接过程中可能出现的水平方向的窜动，一般靠气动夹头夹紧；对垂直方向可能出现的窜动则靠电磁吸头吸紧。

多立柱支撑装夹型焊装夹具是汽车白车身焊装线上应用最多的焊装夹具，因为大部分汽车白车身零部件都要在水平位置上进行安装、定位和焊接（图 7-108、图 7-109）。

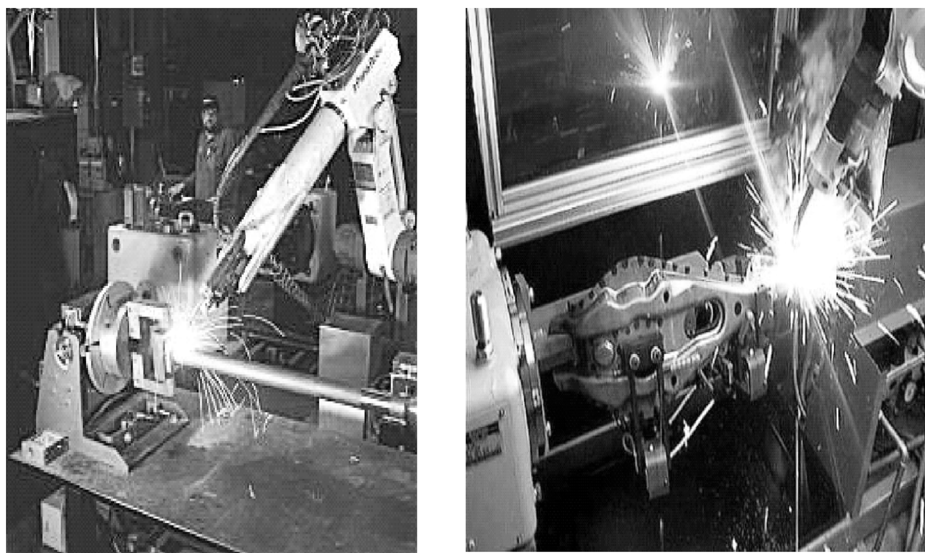


图 7-104　传动轴等零部件的旋转“车床”型焊装夹具

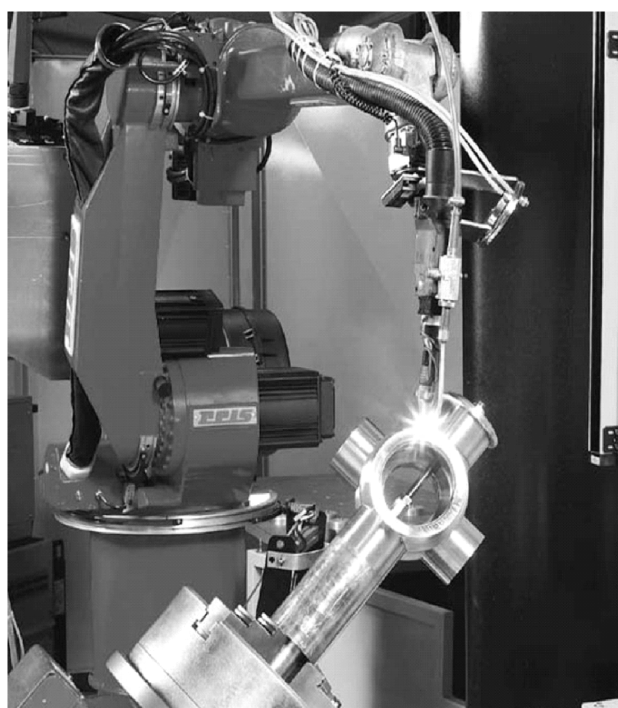


图 7-105　设计成仰角的旋转车床型焊装夹具



图 7-106　装备了焊缝激光跟踪传感器的激光焊机器人

一个汽车白车身部装件，往往需要多台套的焊装夹具才能完成（图 7-110），这一是出于白车身部装件生产工序的考虑；二是把焊装夹具的工作任务化解为最简，才能充分简化一个工位上焊接机器人的类型；三是考虑一个工位上能安排焊接机器人的空间有限。

图 7-111 所示的焊装夹具只是为点焊四个焊点而设计。

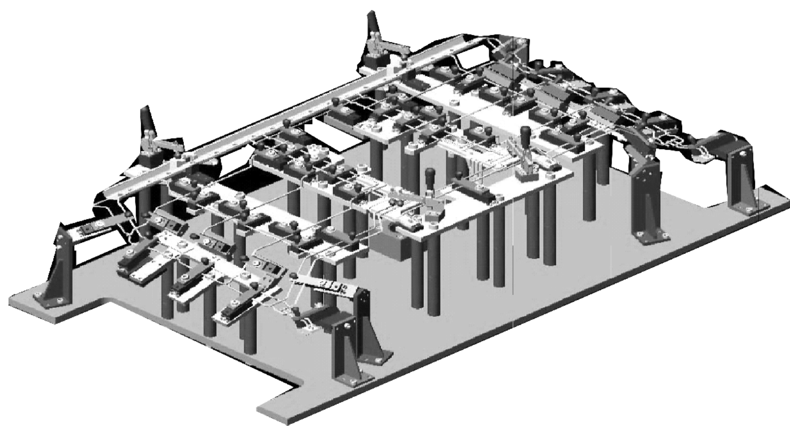


图7-107 用3D软件设计的多立柱支撑装夹型焊装夹具



图7-108 汽车白车身零部件MIG焊装夹具

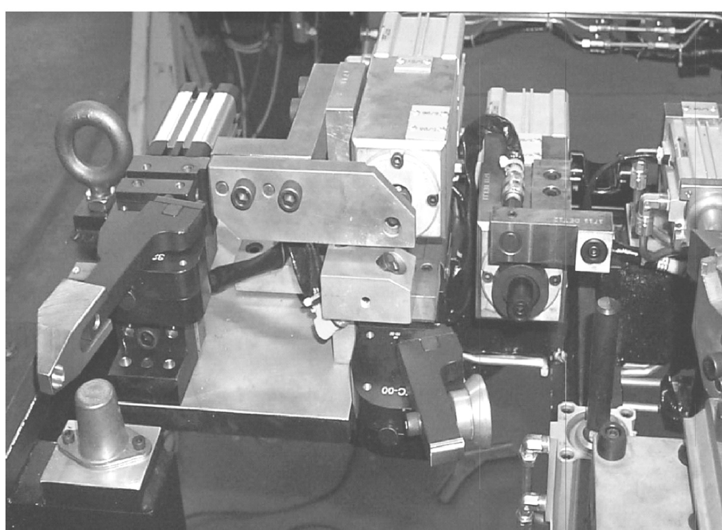
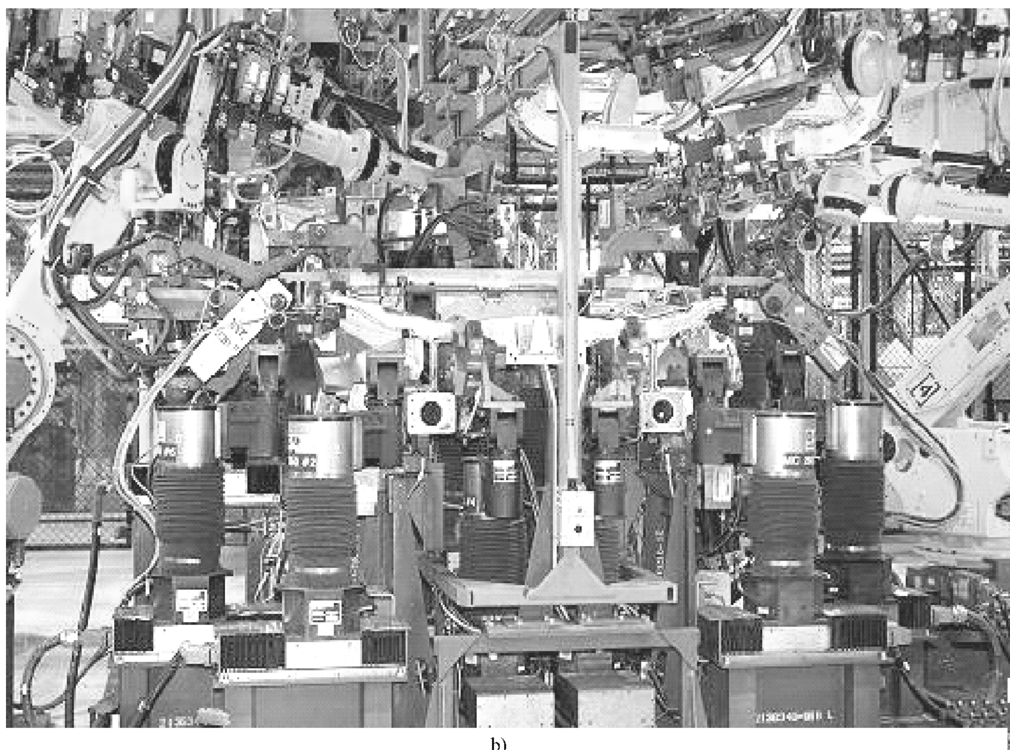


图7-109 汽车白车身零部件点焊装夹具



a)



b)

图7-110　汽车白车身侧围部件的焊装线（FORD）

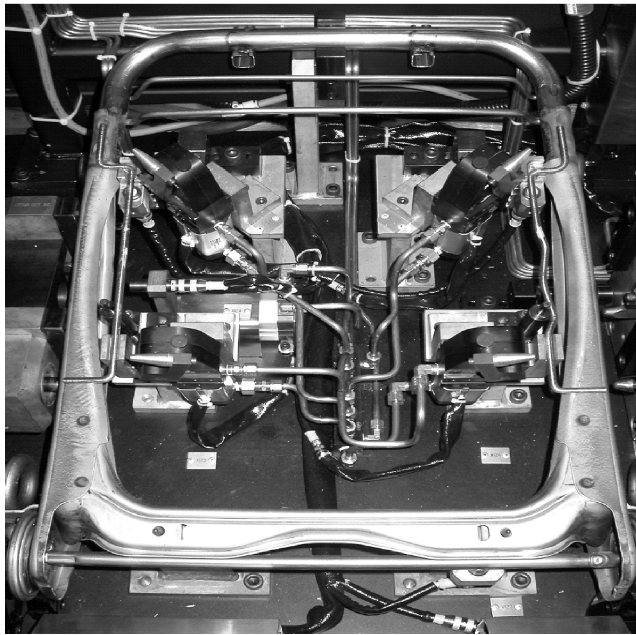


图 7-111　汽车白车身零部件四焊点点焊装夹具

4. 立体框架多点装夹型焊装夹具

从外形上看，立体框架多点装夹型焊装夹具就是一钢结构立体框架（图 7-112），框架中是被围在其中各部分都被装夹、定位的待点（定）焊的焊件。一般来说，在车身焊装线上，立体框架多点装夹型焊装夹具主要用在车身总成合拼焊工段上的点（定）焊工位。车身前后门上窗框是刚度薄弱环节，也是容易焊接变形之处，为此，该装夹具给予多处加强支撑；利用立体框架多点装夹式夹具的 CAD 模拟设计图（图 7-113），可降低设计风险。焊接装夹具的成功设计必须有焊接经验丰富的专业工程技术人员参与。

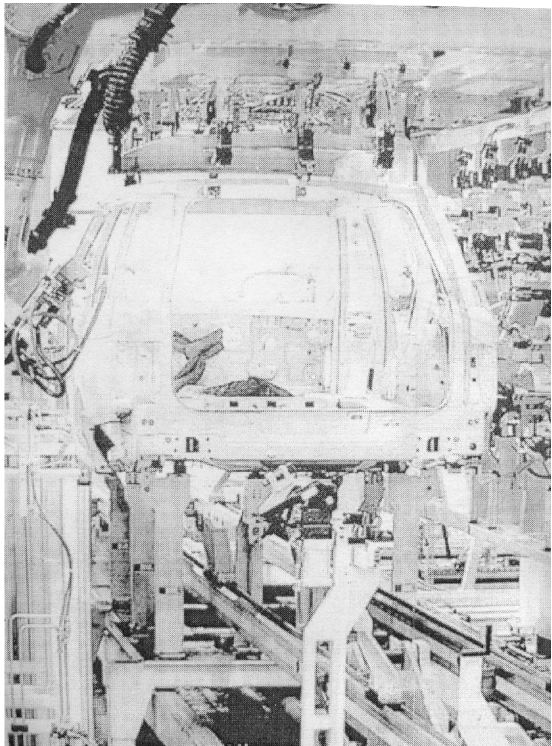


图 7-112　立体框架多点装夹式多用于车身总成的拼焊

车身总成合拼装的点（定）焊工位（图 7-114）是决定整车尺寸精度的最关键工位。该工位上，立体框架多点装夹型夹具的使用状况是：按各焊装部件已被装夹其上的“左侧围装夹具”、“右侧围装夹具”、“车顶前横支撑杠”、“车顶

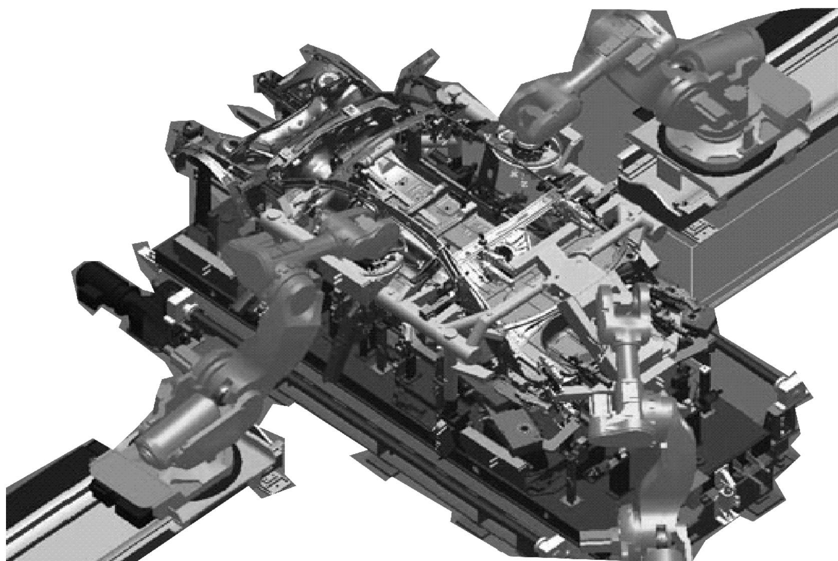


图 7-113 立体框架焊装夹具的 3D CAD

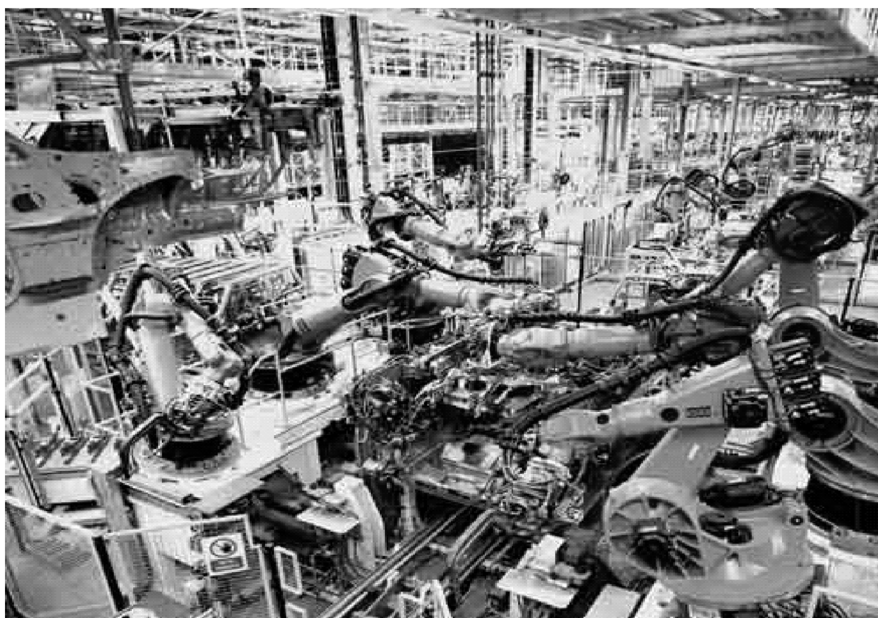


图 7-114 白车身总成合拼装的点（定）焊工位

后横支撑杠”的顺序分别进入焊装位置。然后分布在点（定）焊工位的点焊机器人（图 7-112 中分为上下两层），快点（定）焊关键连接部位，于是车底板、左、右侧围、车顶等被初步连接在一起，车身才有一个总成合的模样。

而组装各部件的位置的精度，对整个白车身的尺寸精度有重大影响，为此，在装夹具的设计上一般有图 7-115 所示方案：“左、右侧围装夹具”沿某种形式的滑道（如图 7-115 中，按箭头方向）进入焊装位置；显然，对车身总成合的装夹具中，“左、右侧围装夹具”本身的精度要求很高。

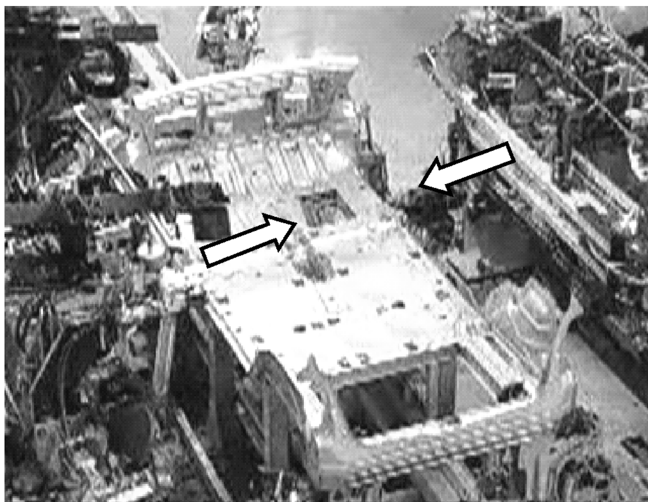


图 7-115　正在送进的左、右侧围装夹具

第 8 章 电 阻 凸 焊

8.1 电阻凸焊工艺方法要点

要点 188 了解电阻凸焊主要工艺参量

1. 限制凸点间的凸出高度偏差量

凸焊（图 8-1）是利用焊件上的凸点或锐边将电极压力和焊接电流均匀地分布在同时焊接的凸出部分，然后通过预压、通电加热和冷却结晶三个过程，形成凸焊接头。因此焊接开始前焊件所有凸点的准确接触是保证各凸出部分均匀熔透的重要条件。通常，凸出部分的高度相差不应大于0.1mm，如图 8-2 所示。

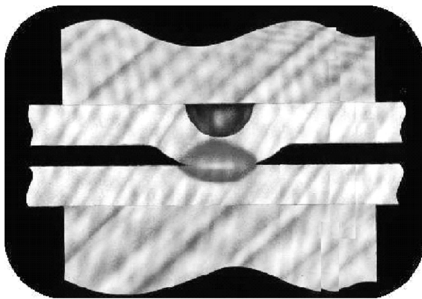


图 8-1 电阻凸焊示意图

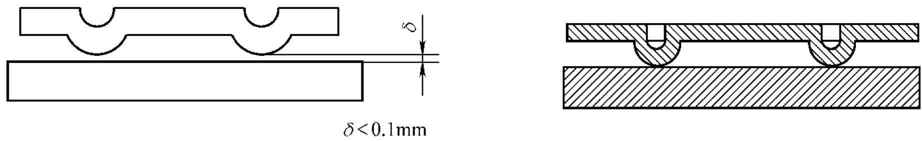


图 8-2 凸点尺寸差限

2. 电极压力不当对凸焊质量影响大

凸焊时，电极压力过小，会使通电前凸点预变形量太小，凸点贴合面电流密度显著增大，造成严重喷溅甚至烧穿；而电极压力过大将使通电前凸点预变形量太大或者压平，失去凸焊意义（图 8-3）；通常，预压阶段凸点高度约下降一半以上，通电加热瞬间剩余凸点才被彻底压平。

焊接过程	电极压力		
	小	合适	过大
预压			
通电			
成核			

图 8-3 电极压力参量对质量影响的示意图

3. 凸点尺寸不应过小或过大

凸点尺寸应与板厚成比例。凸点尺寸过小有可能造成只有凸点熔化而平板不熔化现象；凸点尺寸过大会使压溃和成核困难，使接头强度不稳定。凸点形状有圆球形、圆锥形（图 8-4）、方形等几种，也有采用带环形溢出槽的凸点（参见焊接手册）。无论采用哪种形式，凸点尺寸都应控制在一定范围内。表 8-1 给出了常规凸点尺寸。

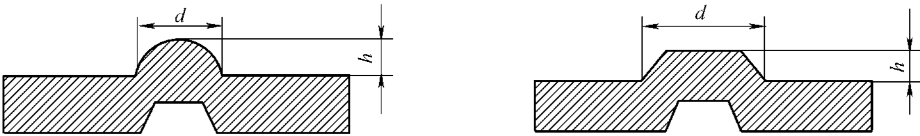


图 8-4　圆球形和圆锥形凸点尺寸

表 8-1　常规凸点尺寸　（单位：mm）

凸点所在板厚	平板厚	凸点尺寸	
		d	*h*
0.5	0.5	1.8	0.5
	2.0	2.3	0.6
1.0	1.0	1.8	0.5
	3.2	2.8	0.8
2.0	1.0	2.8	0.7
	4.0	4.0	1.0
3.2	1.0	3.5	0.9
	5.0	4.5	1.1
4.0	2.0	6.0	1.2
	6.0	7.0	1.5
6.0	3.0	7.0	1.5
	6.0	9.0	2.0

要点 189　了解凸点为何会位移与降低接头强度

由于受平行电流导体间磁力（劳仑兹力）的影响，凸点在压溃过程中会沿斜线向中心偏移，最终使核心偏离原凸点轴线，影响接头性能（图 8-5）。为了减少凸点位移，应减少焊接电流，降低电极压力，提高加压系统随动性。同时，应当减少凸点尺寸和增加凸点间距。在多点凸焊时，为补偿各凸点的尺寸和板厚及电极平行度的不均衡，应采用可转动的电极头施焊。

要点 190　焊接区体积较大的接头处理

由于凸环焊和 T 形焊贴合面范围大，焊接区体积较大时，加热不易均匀，压力不够均衡，使焊接区电流密度减小，散热作用相对增强，使焊接区温度往往比熔点低，结果在未完全熔化状态下产生固相连接。改变接头的形状（图 8-6），可以较好地提高连接的可

靠性。

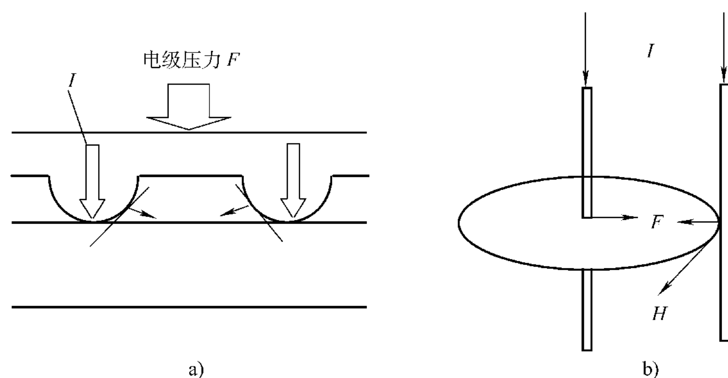


图 8-5 凸点位移的物理解释

a）凸点的偏移 b）凸点偏移力（劳伦兹力）的物理解释

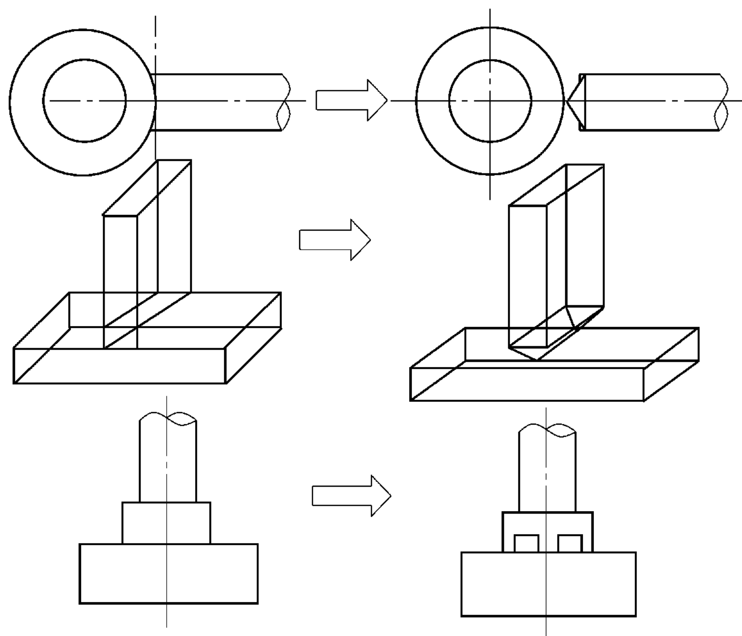


图 8-6 焊区体积较大时的凸焊接头处理

要点 191 线材凸焊不宜呈平行状接触

线材凸焊以交叉状接触为佳（8-7）。这样，利用线材轮廓的凸起部分相接触，无须进行凸台加工即可焊接。为防止线材错移和增大线材与电极的接触面，与线材接触的电极应做成半圆缺口。

要点 192 管子凸焊应先将两管局部压成 U 形

管子以直接交叉方式进行凸焊，因只有一个凸点，所以接头的抗弯、抗扭强度很低。如果焊前先将两管的局部压成 U 形然后进行焊接，此时一个接头上有多个凸焊点，焊接强度就会高得多（图 8-8）。

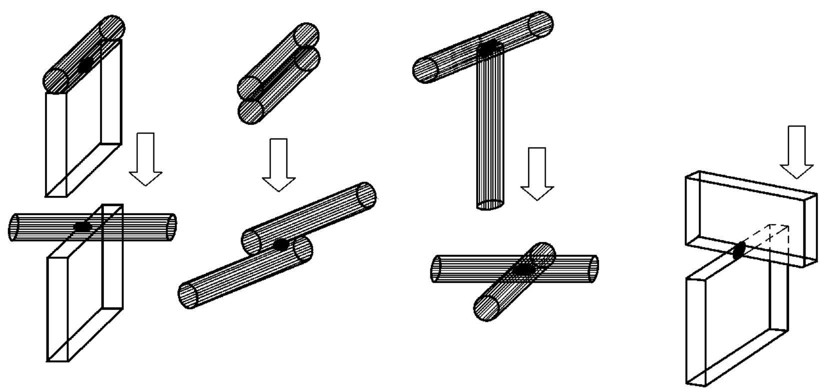


图 8-7 线材凸焊接头处理

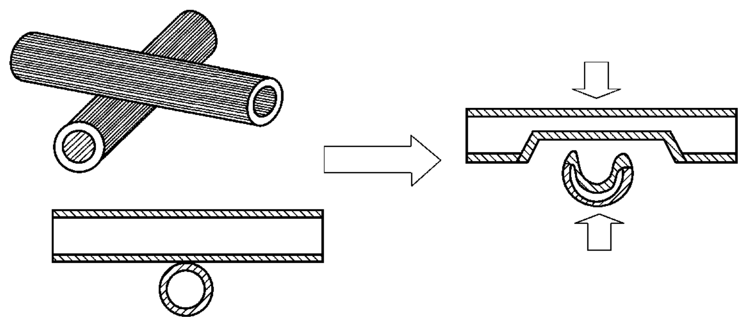


图 8-8 管－管凸焊接头处理

要点 193 滚凸焊凸点不应布置在立板上

利用滚轮电极可以进行弧状 T 形件凸焊，亦称滚凸焊。滚凸焊凸点可以布置在立板上，也可以布置在平板上，但通常以布置在平板上为好，如图 8-9 所示。

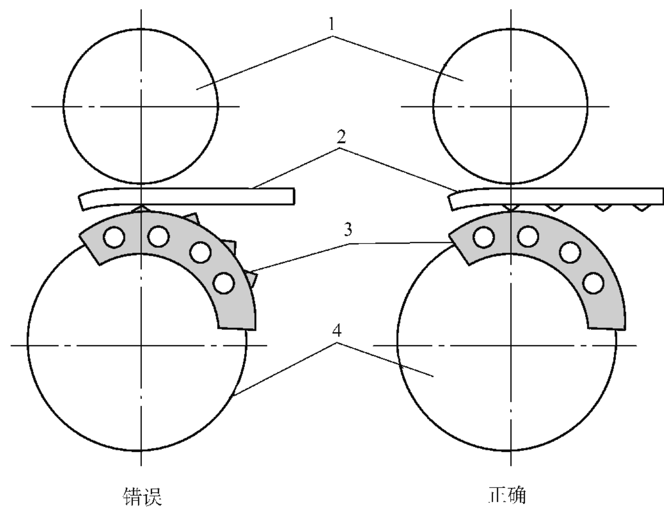


图 8-9 滚凸焊工艺方法

1—上滚动电极 2—平板 3—立板 4—下滚动电极

8.2 电阻凸焊设备选择与使用要点

要点194 了解凸焊设备的主要特点

1. 有完善的压力系统

与一般的点焊机相比，电阻凸焊机对电极加压系统的要求更严格，主要是要求的压力更大、同时还要求有完善的压力稳定和短时压力增大的功能，这些都是基于设备对多凸点焊、复杂凸点接头的考虑。

2. 有焊接电源硬规范内较宽调节功能

与一般的点焊机相比，电阻凸焊机为了能在硬规范内有较宽调节的功能，要求焊接电源的设计功率就较大，因此从外形上看（图8-10）电阻凸焊机往往有装备庞大焊接变压器的机柜。

3. 有较短的二次回路

为了克服二次回路对焊接电流降低的缺点，电阻凸焊机往往比一般的点焊机有更短的二次回路（电缆或铜排）。

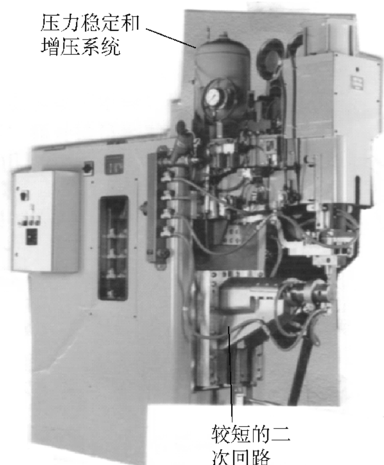


图8-10 一种座式凸焊机

要点195 凸焊机的一般选用原则

1）充分考查凸焊机使用的电源类型和功率大小。考虑到具体的凸焊焊件本身的结构、尺寸大小、凸点的分布状态、凸点尺寸等的复杂情况，现代的凸焊设备中，不再是只采用工频交流电源一种型式，而是以采用电容储能型电源、次级整流型电源为主。因为使用后两种电源，更容易获得较好的焊接质量。

2）在产品试制阶段，选用的焊机功率大小要留有充分裕量，以免出现因焊机功率不足而误为工艺不当。

3）凸焊电极装夹头的设计合理性，是否考虑了多凸点同时焊接的加压均匀性。

4）一般凸焊机的二次回路都比较紧凑、导电铜排截面也较大，以尽量降低回路的电阻和感抗（图8-11）。

5）电极加压系统远比普通点焊机复杂，以适应凸点焊对压力调节精度的要求。

6）电极装夹头适用焊件的装夹与保障凸点焊接质量。

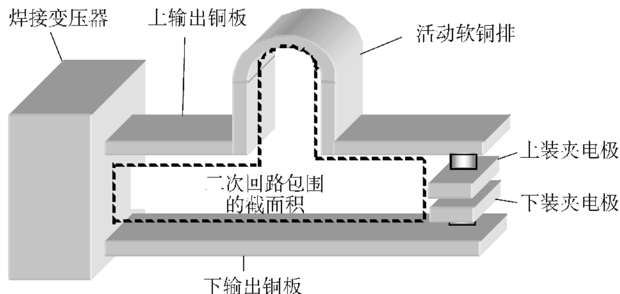


图8-11 凸焊机的二次回路

7）生产线上的凸焊机，用户最好还是向设备制造商提出具体焊接要求，由制造商提供专用凸焊设备。

要点196 凸环直径较大时宜采用直流电源焊接

冲压件可以冲成凸环或利用板件的边缘作为凸环进行凸焊，以形成密封焊缝（图

8-12)。当凸环尺寸较大时，次级整流电源波形对环焊最适宜，它可稳定获得 ϕ75mm 的环形密封焊缝，而交流焊接电流波形却只能焊到 ϕ25mm。

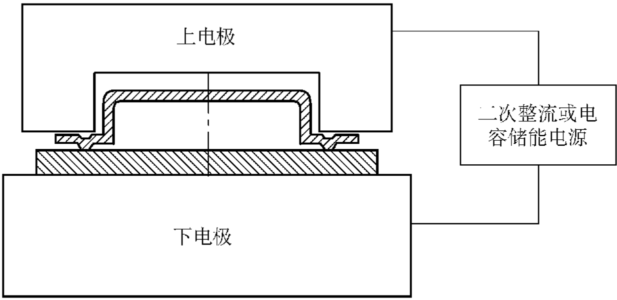


图 8-12　直流电源适用较大凸环直径凸焊

要点 197　凸焊机要求专用电极设计

由于凸焊接头的复杂性（图 8-13），一般凸焊机都要求专用的电极设计，这样一来，就形成了大量的凸焊专机。为节约成本，一般用户也可自行设计电极或向生产厂家提出焊件的结构，然后由生产厂家提供整机。

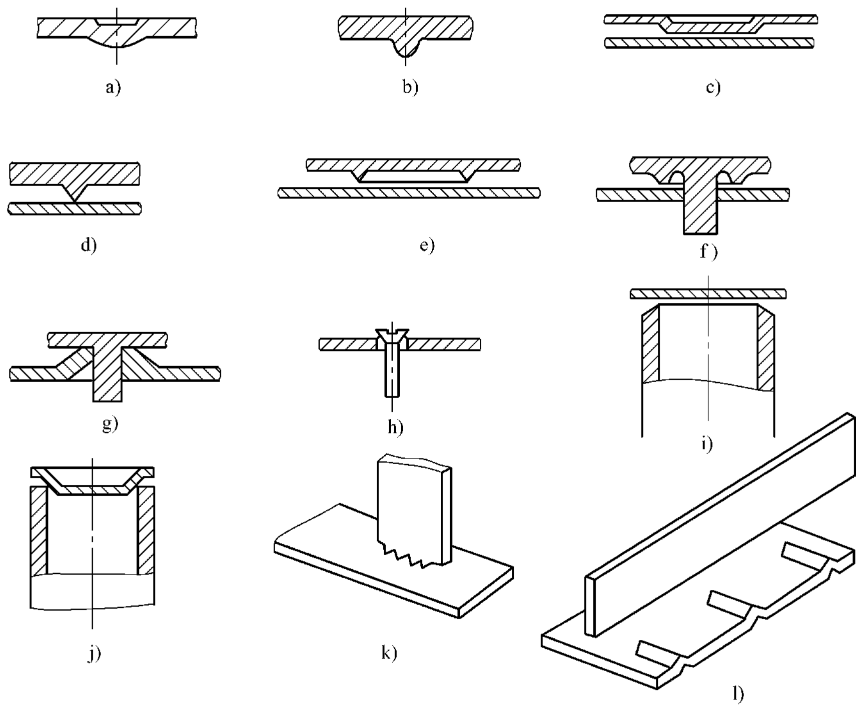


图 8-13　部分凸焊接头结构

第 9 章　电 阻 缝 焊

9.1　电阻缝焊工艺方法要点

要点 198　掌握缝焊主要工艺参量

1. 焊接电流大小与补偿分流

常见缝焊（图 9-1）的焊缝是由一个个焊点组成，由于熔核的重叠或相距较近，使通过滚盘及新结合面的电流被距离很近的已焊熔核分流（图 9-2），这样就不能形成足够大的熔核。为了补偿分流所造成的损耗，必须充分增大焊接电流。在相同条件下，比点焊电流增加 15% ~40%，甚至更大。

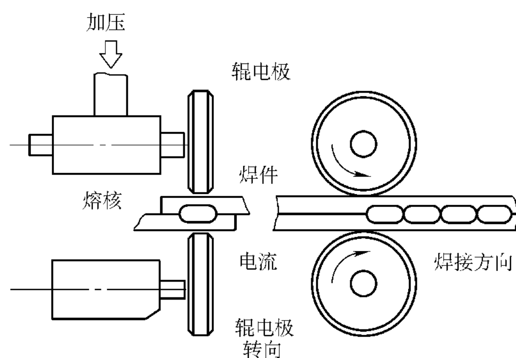


图 9-1　电阻缝焊工艺原理示意图

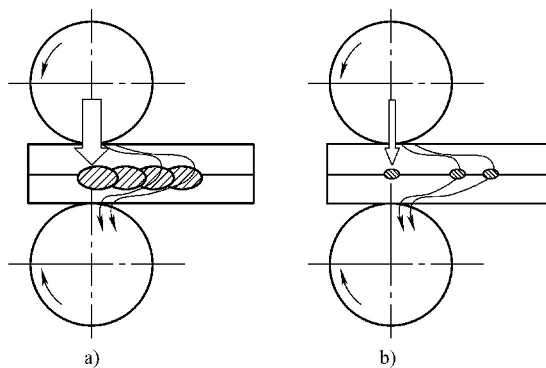


图 9-2　电流对成核的影响

a）焊接电流较大，可补偿分流损耗

b）焊接电流较小，不能形成连续熔核

2. 在实际生产中不采用连续电流缝焊

连续电流缝焊时电流连续通过滚轮和焊件，在电源每半周内形成一个焊点。由于焊点分流和通电时间较短，为了形成熔核，势必增加焊接电流、降低焊接速度。这样电极表面和焊件表面均有强烈过热，使焊件变形增加、焊接质量降低及电极烧损严重。因此应避免采用连续缝焊方法；断续电流缝焊（图 9-3）和步进缝焊是一种高质量的焊接方法，在生产中得到了广泛的运用。对于厚板焊接，尤以步进缝焊为佳。

3. 缝焊电流过大会降低接头质量

焊接电流的大小决定了熔核的焊透率和重叠量，两者随着焊接电流的增加而增大。在焊接电流满足接头强度的要求以后，若继续增加焊接电流，虽然可获得更大的焊透率和重叠量，却不能继续提高焊接强度，反而会因焊接电流过大使焊件析热过多，而产生过深的压痕和烧穿，使焊接质量降低（图 9-4）。

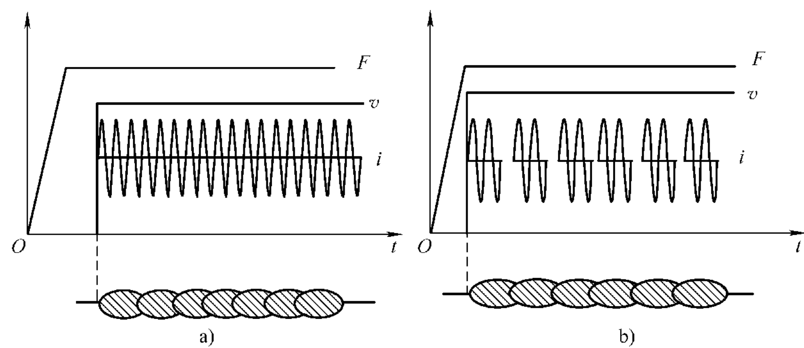


图9-3　连续电流与断续电流缝焊

F—电极压力　v—焊速　i—焊接电流

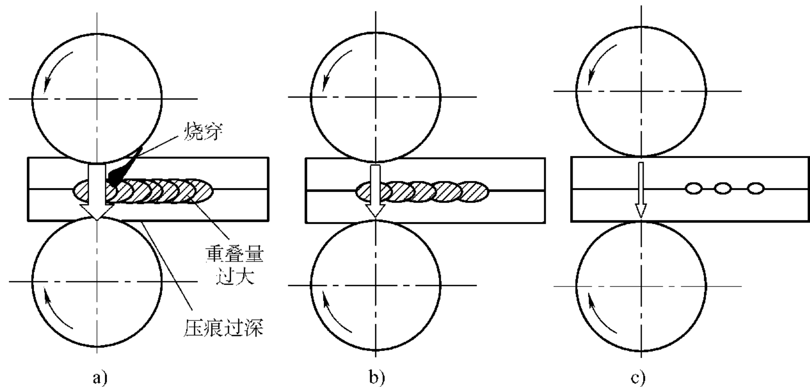


图9-4　缝焊电流不可过大

a）电流过大　b）电流适当　c）电流过小

4. 缝焊速度不宜过快

处于滚轮电极下的焊接区和邻近的两边金属，在同一时刻分别处于预压—通电—冷却结晶三个状态。如果缝焊速度过快，上述正常的过程特征将消失，即使压力再强、电流再大，也不可能实现焊接。为了获得具有一定焊透率和重叠量的焊缝，必须控制焊接速度（图9-5），并随着板厚的增加而适当降低焊速。

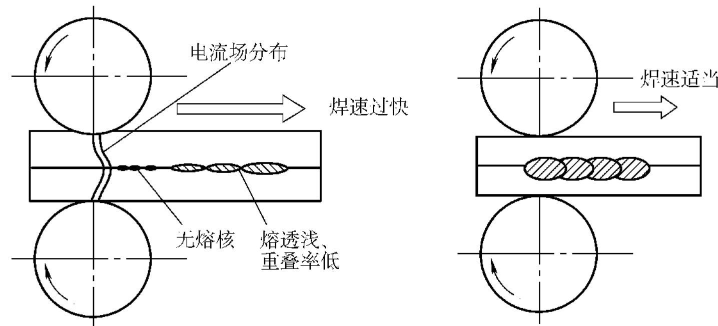


图9-5　焊速对成核的影响

要点199　同种材料等厚平板缝焊滚轮直径不能相差太大

对厚度、材料相同平面焊件缝焊，为了保证焊接区的最高温度位于两焊件的结合面上，必须选用上、下焊接轮直径与宽度完全相同的滚轮。当滚轮直径相差较大时，熔核

将偏向小直径滚轮一边（图9-6）。

要点200　缝焊滚轮直径不能太小

滚轮直径的大小决定了焊件与滚轮的接触面，对电流场的分布与散热都有较大影响（图9-7）。只要焊件结构允许，滚轮直径 D 应尽可能选大一些。焊接平板时，通常 $D \geqslant 250$ mm，使用修磨后不得小于150mm。

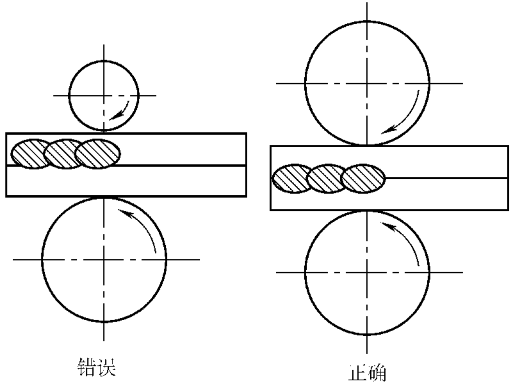


图9-6　滚轮直径对同种材料、等厚板材成核的影响

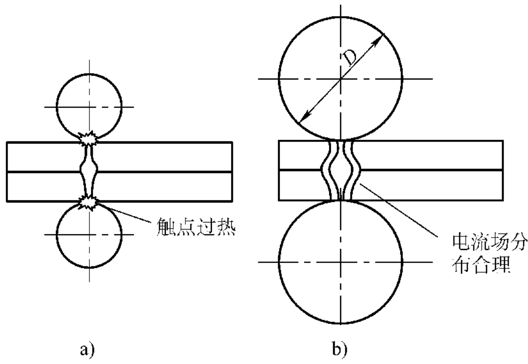


图9-7　滚轮直径影响缝焊热场

a）滚轮直径过小　b）滚轮直径适当

要点201　不宜采用过于宽大的缝焊滚轮

滚轮宽度的选择应考虑到焊件结构的开敞性及搭边尺寸等条件。为了减少搭边尺寸，减轻结构重量，提高热效率和减少焊机功率，一般采用窄边滚轮，通常 $b=3\sim5$mm（图9-8）。

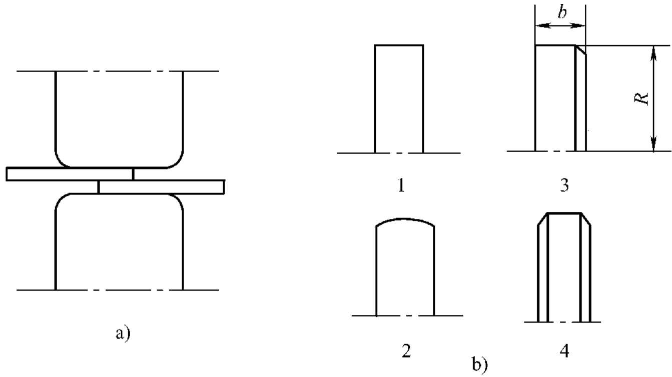


图9-8　滚轮形状尺寸规范

a）滚盘宽度过大　b）窄边滚盘的常用形式

1—扁平形　2—球面形　3—单倒角形　4—双倒角形

要点202　不同厚度的平板零件缝焊时不宜选用相同直径的滚轮

不同厚度板件缝焊，如果选用相同直径的滚轮，由于焊体本身电流场分布状态、焊接分流、加热与散热等不同，常常使薄件加热严重不足，结果使熔核偏向厚件。因此必须调整两滚轮直径（图9-9），以使熔核成核在板材结合面上。

要点203　曲面缝焊不能选用单一形式滚轮

曲面缝焊较为特殊，如果再考虑材料不同、厚度差异等因素，焊接时将会遇到更大的困

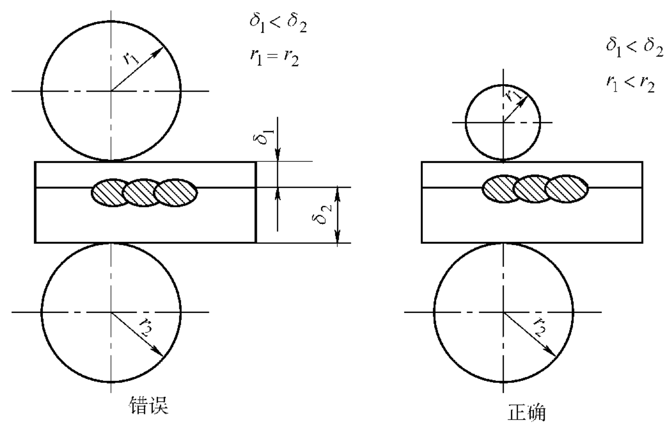


图 9-9　滚轮直径对不等厚板材成核的影响

难。此时应考虑滚轮与焊件的接触面、电流场分布、材料加热和散热等条件，选择好上、下滚轮尺寸及参数（图 9-10）。例如，同等厚度、相同材料的曲面缝焊，不宜采用相同直径滚轮；不同材料和不同厚度的曲面缝焊应区别材料性质和所在的位置，调整滚轮直径，避免熔核偏移。

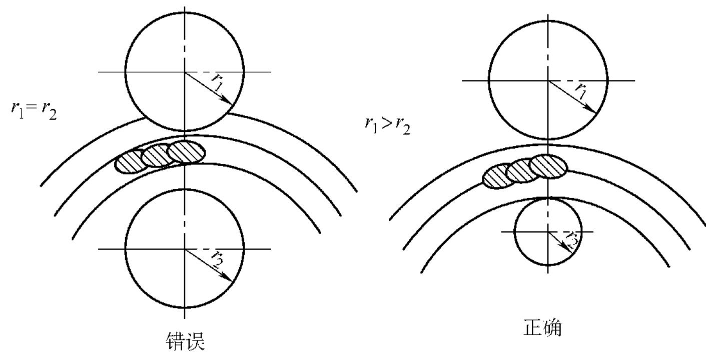


图 9-10　曲面缝焊对滚盘的处理

要点 204　滚轮形状不得阻碍金属流动

如果要求焊件的一面具有平滑的表面，必须适当控制滚轮形状及焊件的接触方式。接触面太大不利金属流动，对成形不利。采用具有 7°～10°斜面的滚轮施焊，可将被压溃而伸长的金属引导到滚轮斜面方向来，可以保证焊件表面平滑（图 9-11）。

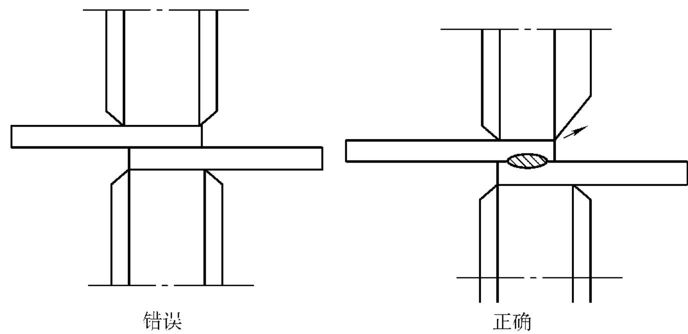


图 9-11　获得平滑缝焊表面对滚盘的处理

要点 205　获得平滑表面的缝焊方法

为了获得单面平整的焊缝，必须改变接头连接形式和焊接方法。如采用搭接形式，应在下电极上制作沟槽；采用对接形式，应铺垫一箔带；或采用下焊板折边方式等（图 9-12）。采用普通接头形式不易获得平滑表面。

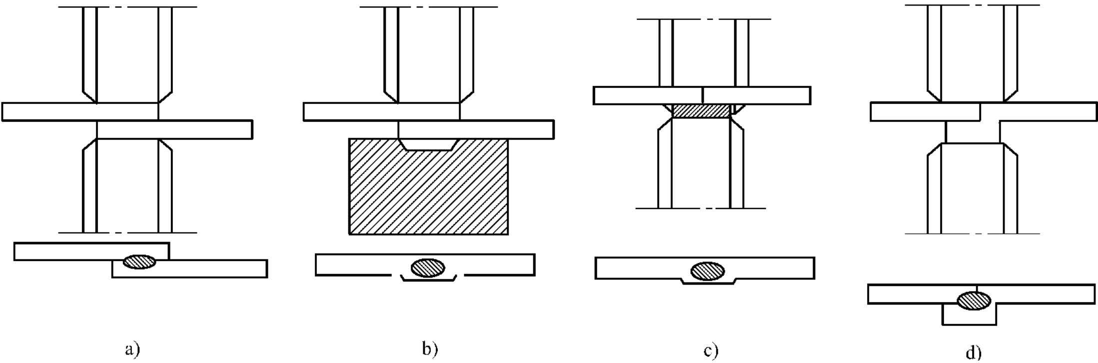


图 9-12　获得平滑缝焊表面的搭接方法

a）普通搭接　b）压槽搭接　c）垫箔搭接　d）折边搭接

要点 206　厚板缝焊不宜采用搭接方式

当缝焊板厚达 3mm 时，若采用常规的搭接缝焊，就必须用很慢的焊接速度、较大的焊接电流和电极压力，这会引起焊件表面过热和电极粘附，使焊接困难。若用垫箔对接缝焊，可以克服这些困难（图 9-13）。

要点 207　窄边搭接缝焊搭接量不宜过大

为了获得焊后平整的缝焊表面，可将接头端面稍微搭接一点，在焊接同时压平接头（图 9-14）。这种焊缝不允许金属堆积，因此搭接量不宜过大。通常搭接量为 1.25 ~ 1.5δ，而 $\delta < 1.2$mm。

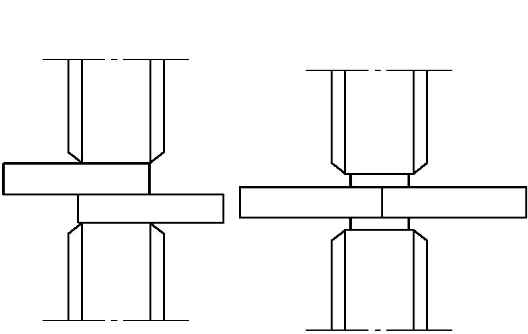


图 9-13　厚板缝焊垫箔方法

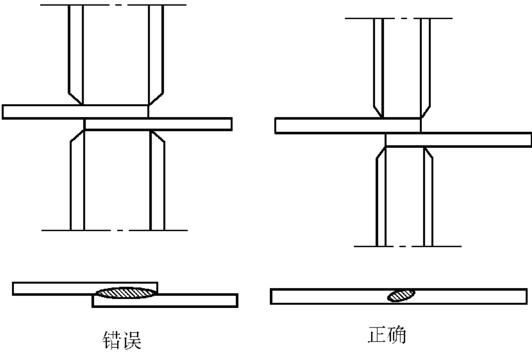


图 9-14　窄边搭接缝焊的搭接量

但窄边搭接缝可能出现的问题之一是，在焊接加压时，焊件易产生滑动或被挤出滚轮界外。若将焊件加工成斜面或预加工成阶梯形式（图 9-15），使搭接变成搭对接形式，可避免焊件在加压时滑动，并保证双面光滑。

要点 208　纵缝与环缝交叉时不宜留有空隙

筒形焊件采用搭接缝焊，不可避免地会出现纵缝与环缝的交叉情况（图 9-16）。为避免在交汇间隙处烧穿，保证焊缝严密性并使滚轮受力均衡，必须对此交叉处进行特殊加工：

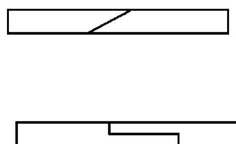


图 9-15　窄边搭接接头防滑动处理

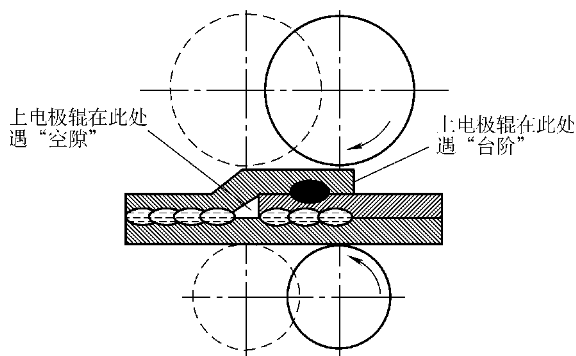


图 9-16　纵缝与环缝交叉示意图

1）在筒底装配前铲平纵缝。

2）筒体下料时在端头预剪切口，将搭接纵缝过渡为对接。

3）焊后用其他焊接方法补焊加强。

要点 209　小直径圆周缝焊零件不宜过厚

在大型零件表面上焊接安装座等小型零件且有一定气密性要求时，可采用圆周缝焊（图 9-17）。焊接时零件旋转或使滚轮绕所焊小直径零件的中心转动。因为机头刚度限制，所焊零件不能太厚。

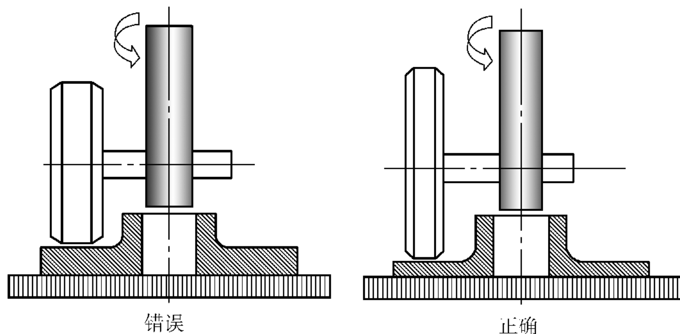


图 9-17　小直径圆周缝焊工艺

要点 210　薄壁管件不宜采用双滚轮缝焊

焊接薄壁波纹管、膜盒等零件，因零件薄、刚度小或焊接处窄，不能采用双滚轮缝焊。

采用辅助夹具缝焊（图 9-18）是解决上述问题的一种办法，但要求辅助夹具应有足够的刚性、良好的导电性和散热能力。

要点 211　周缘缝焊不宜采用窄边滚轮

边缘密封圆盒形且厚度小于 1.0mm 的焊件，可采用周缘缝焊。周缘缝焊所用滚轮直径较小（约为 15 ~ 20mm）且较厚，使用窄边滚轮不能保证焊接过程的稳定，且对焊接机具要求较高（图 9-19）。

要点 212　镀层薄板缝焊时电极不宜与镀层直接接触

镀层板缝焊时，由于镀层易粘附在滚轮上（图 9-20），使缝焊难于进行。特别是镀锡钢板，由于锡的熔点较低，附着力较强，用普通滚轮作电极几乎无法焊接。如果在滚轮与板材之间夹入铜线，即以铜线作为电极，这样镀层仅粘附在铜线上，而不会污染滚轮。这种方法

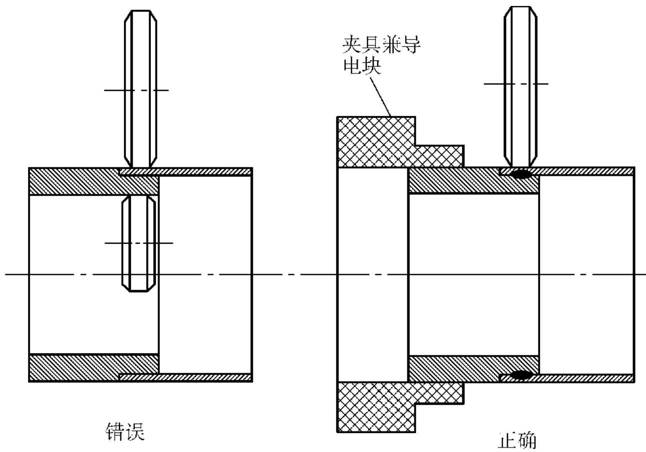


图9-18 薄壁管件的缝焊工艺

是目前焊接镀层钢板，特别是镀锡钢板的主要方法。

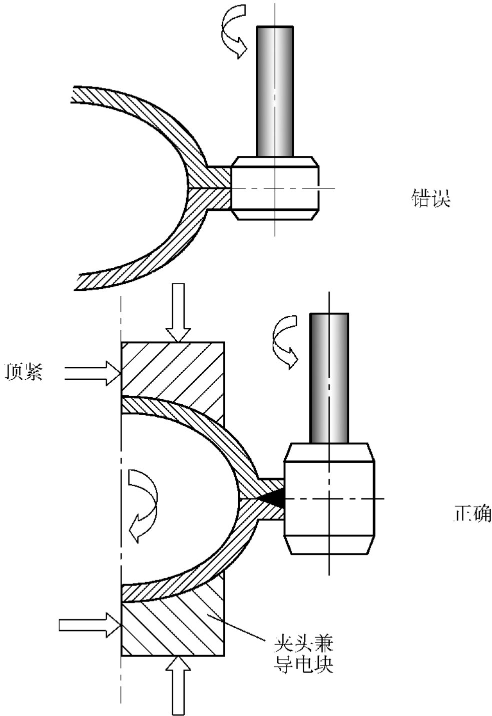


图9-19 周缘缝焊工艺

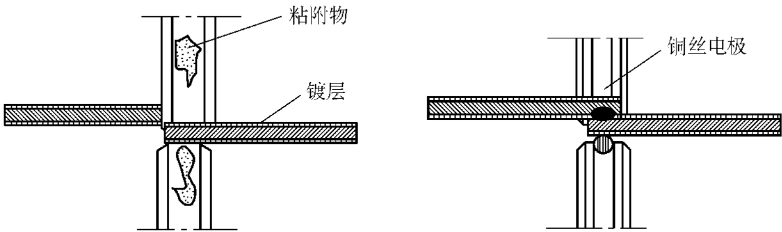


图9-20 镀层板缝焊工艺

9.2　电阻缝焊设备选择与使用要点

要点 213　选用缝焊机的一般要点

1. 注意缝焊机滚轮的加压方式的选择

与传统的纵向加压滚轮缝焊机相比，现代缝焊机在电极加压滚轮的加压方式有很多改进，即除了纵向加压滚轮外，还十分注重对横向加压滚轮缝焊机（图 9-21）的开发。

采用横向加压滚轮缝焊机的主要理由是：焊件的结构特点是焊缝分布在焊件边缘（如图 9-22 中的盒式燃油箱），焊接过程中，焊件不会伸进缝焊机的二次回路中（图 9-23），从而也就不会引起焊接电流的变化，结果焊缝的几何尺寸（主要指焊缝的宽度）稳定可靠。



图 9-21　典型座式横向加压滚轮缝焊机



图 9-22　盒式燃油箱

但由于某些焊件结构性的限制，要进行电阻缝焊，还必须采用纵向加压滚轮的缝焊机，如图 9-24 所示的箱式燃油箱，其壳板上有一条纵向焊缝，就必须采用纵向加压滚轮方式的缝焊机。由于焊缝分布在焊件中间部位，且壳板必定要伸进缝焊机的二次回路中，也就必然会引起焊接电流的变化，造成焊缝越来越窄。

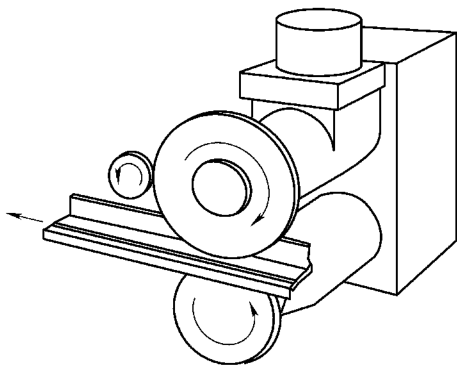


图 9-23　横向加压滚轮缝焊机的焊接状态



图 9-24　箱式燃油箱

为此，在选用纵向加压滚轮的缝焊机的同时，还要求有焊接电流跟随焊缝长度进行补偿的微机控制系统。

2. 注意对滚轮清理附属功能的选择

因为长时缝焊时，滚轮会磨损和粘连焊渣，因此现代的缝焊机非常注重对滚轮清理、整形等附属功能的开发和完善。

对于大批量生产的线上缝焊机，应充分减少停机修磨、更换辊轮电极的时间，为此，专业缝焊机生产厂家精心设计缝焊机附属去渣辊装置、电极辊边缘整形刀（图 9-25）。

3. 注意对控制系统功能的选用

现代缝焊机基本上实现了全面微机化控制，为此，应从以下几方面考查控制系统的功能：

1）是否存储有多套焊接程序、是否多种压力控制。

2）是否能对焊接电网电压波动进行补偿。

3）是否有焊接电流渐增补偿功能。

4）是否有轮盘磨损电流渐增补偿功能等。

要点 214　注重对缝焊机二次回路的考查

缝焊机二次回路设计的好坏，关系到焊接长时工作的温升和焊接稳定性。

其中的主要考查重点是：

1）缝焊机二次回路的铜排截面是否足够大、散热的问题是否考虑周全。

2）对于滚轮移动的缝焊机是单变压器单滚轮供电方式、还是双变压器双滚轮供电方式（图 9-26）。

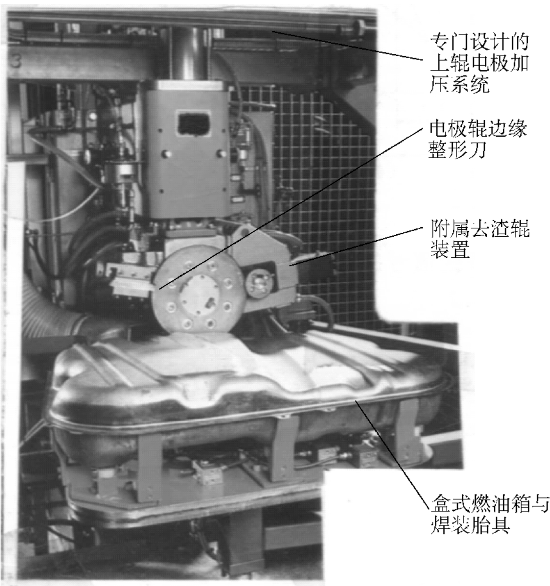


图 9-25　燃油箱专用横辊缝焊机（ABB）



图 9-26　一种精细设计的缝焊机二次回路

图 9-27 所示给出了滚轮移动的缝焊机单变压器单滚轮供电方式、双变压器双滚轮供电方式。

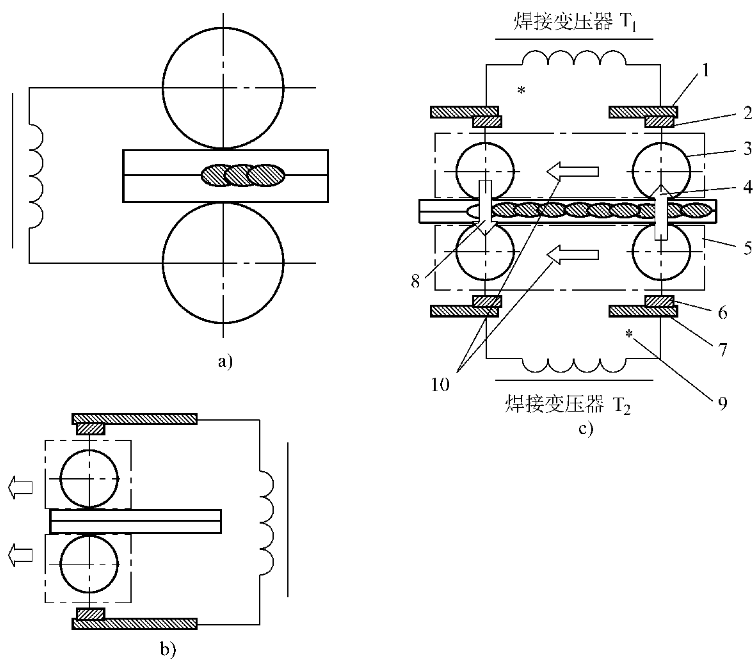


图 9-27　单滚轮组合与双滚轮组合的缝焊机

a）单变压器、固定单滚轮对缝焊机的二次回路　b）单变压器、动单滚轮组合缝焊机的二次回路
c）双变压器双滚轮组合缝焊机的二次回路
1—上电极导流铜排　2—上电极导流滑块　3—上电极组合　4—“回火”电流　5—下电极组合　6—下电极导流滑块
7—下电极导流铜排　8—焊接电流　9—焊接变压器的同名端符号　10—上、下电极组合的整体移动方向

要点 215　注重对缝焊机滚轮机械传动部分的考查

由于现代缝焊机的用户有时需要更换不同尺寸的滚轮，为此，缝焊机滚轮机械传动部分的设计就要方便用户对滚轮的拆卸和安装。

例如，盒式燃油箱的封盖与筒身间处于四个角部位的环缝内侧弧度半径很小，进行横辊缝焊机焊接要配用半径也小的下辊轮；而其他部位的直缝须用与上电极同样辊轮，这样一来，就需要两台同型号、但下辊轮方便拆卸和安装的缝焊机，如图 9-28 所示。

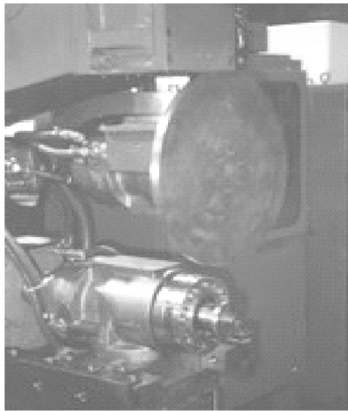


图 9-28　下辊轮方便卸装的结构

第 10 章　闪 光 对 焊

10.1　闪光对焊工艺方法要点

要点 216　闪光对焊的主要工艺参量

1. 闪光电流

闪光对焊是利用焊件内部的电阻热并将其加热到一定（低于熔化）温度状态下进行的。它要求焊件在对口处的整个接触面上加热均匀、温度适当，被焊金属具有良好的高温塑性，在连接端面上不应有阻碍金属原子间相互作用和结晶的氧化物夹杂。而达到这样的焊接状态要求稳定的闪光（图 10-1），而稳定的闪光要求焊接电源提供稳定的焊接电流，如图 10-2 所示。



图 10-1　钢圈闪光对焊机

2. 闪光速度

若要使连接端面上各处温度均匀，就必须有稳定的闪光速度，而稳定的闪光速度是由电阻对焊机的动滑夹头（图 10-3）推进系统提供的。

3. 顶锻速度

在闪光末期，紧接着是将动滑夹头迅速推进，使两被焊端面压紧，从而形成对焊接头（图 10-4）。动滑夹头的推进速度，就称为顶锻速度。而顶锻速度是影响对焊接头质量的最为关键工艺参量。

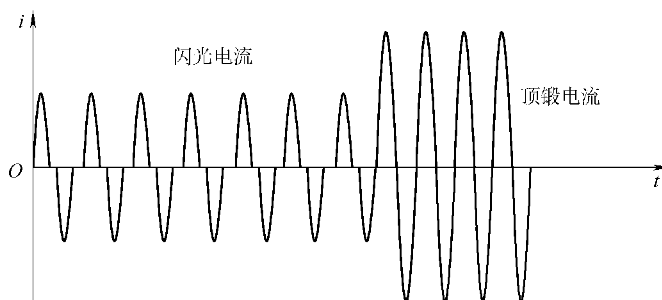


图 10-2　闪光对焊机的焊接电流波形

要点 217　大断面焊件的闪光对焊必须有完善的顶锻控制系统

大断面焊件在闪光对焊时，因加热不均匀、氧化物排除困难、塑性变形不均匀一致等问题，因此要求焊接设备要具有完善的顶锻控制系统，同时，还要充分注意焊接变压器二次回

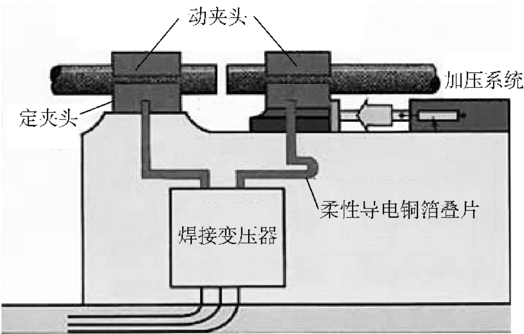


图 10-3　闪光对焊机的动、定夹头

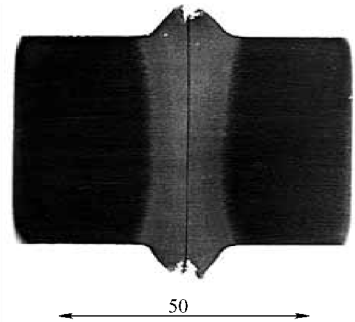


图 10-4　闪光对焊的接头

路的馈电方式（图 10-5）。

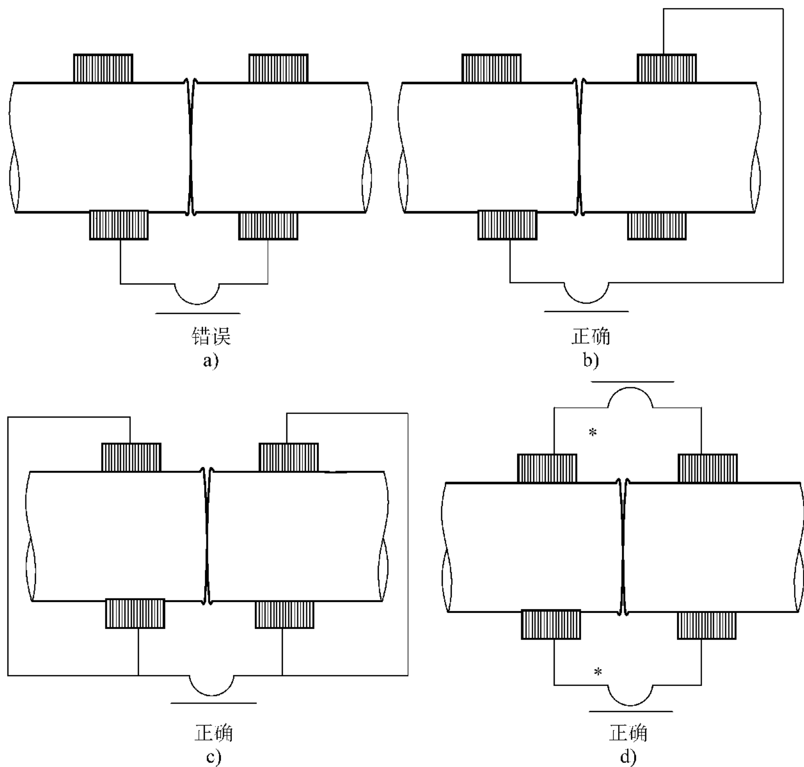


图 10-5　大断面焊件对焊的二次馈电方式
a）单面馈电　b）交叉馈电　c）双面馈电　d）双变压器馈电

要点 218　无闪光对焊一般焊接质量不高

无闪光对焊时，在加热开始前两焊件的端面应该紧密接触，否则会因导电不均而产生接触面加热不均匀现象。同时，因空气进入两焊件间隙会发生局部氧化，使接头质量显著下降。薄壁管钢板及其他断面周边伸展的构件，因接触面不易做到平整，所以在无闪光对焊时一般不能得到良好的焊接质量（图 10-6）。

要点 219　闪光对焊时焊件初始接触面不宜过大

闪光对焊可以焊接断面尺寸较大的金属材料，包括具有紧凑断面的焊件（圆形及方形

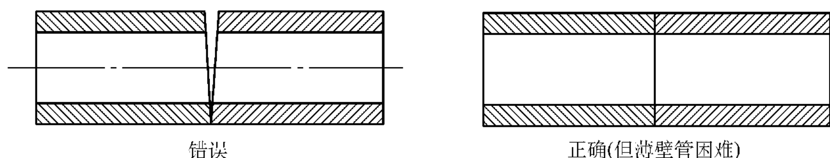


图 10-6　无闪光对焊对端面接触要求高

等）和具有展开断面的焊件（薄壁管、薄而宽的钢带）等。但是为了有利于在两焊件对口间产生闪光，焊件的初始接触面不宜过大（图 10-7），有时特意把一个端头做成斜面，使两端面逐渐移近时达到局部接触，然后利用电阻热加热这些触点，使端面局部熔化、爆破和闪光，直至将端头均匀加热。焊件接触面过大，不容易进入闪光过程，应尽力避免，这与无闪光对焊恰好相反。

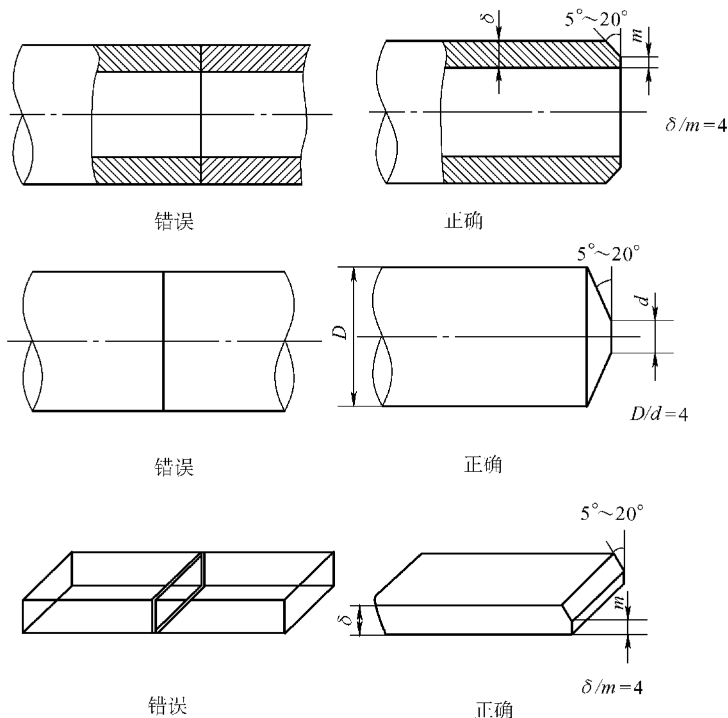


图 10-7　闪光对焊焊件初始接触面处理

要点 220　闪光对焊热输入过量会导致接头质量下降

焊接电流和焊接时间是决定焊件加热的两个主要参数。只要保证产生的热量在规定时间内使焊件达到焊接温度，两者可在一定范围内相应改变。如果电流密度过大，会引起局部熔化和加热区过宽；如果焊接时间过长，则会使接头晶粒粗大和氧化机率增加，导致接头质量下降（图 10-8）。闪光对焊时是以焊件缩短量（焊接留量）来控制焊接时间的。

要点 221　闪光过程中的电弧现象不利于焊件均匀加热

闪光对焊时，焊件接触面的“液体小桥”使接触电阻热增加并以连续不断的爆破和闪光方式使加热区扩展，并均匀加热到一定温度。闪光过程有时会出现电弧现象（图 10-9），这是焊接电源通过空气放电的表现，它的热作用区较小，不利于焊件均匀地加热，应当避免。

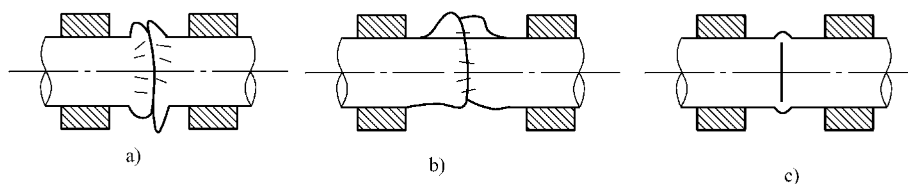


图 10-8 热输入过量导致焊接缺陷

a）电流过大 b）加热时间过长 c）标准接头

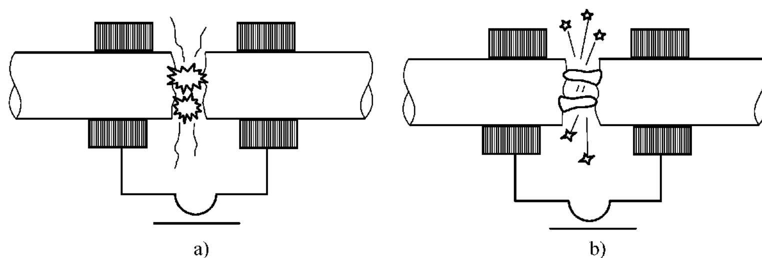


图 10-9 闪光对焊闪光区状态

a）电弧放电使热作用区相对集中 b）液体“小桥”爆破及闪光使端面加热均匀

焊接电源电压不稳定是闪光过程中产生电弧现象的主要原因，因此焊接电源能否在电网电压波动时，具有电网电压波动补偿功能是闪光焊机的一项重要性能指标。

要点 222 闪光对焊两焊件断面不宜变化太大

闪光对焊时，焊件在靠近接口处应具有大小和形状相同或相近的端面，譬如圆管直径壁厚或方棒边长之差不应超过 15%，才会有相同的塑性变形。

1）两个直径不同的实心棒料对焊，焊接处直径应该相同（图 10-10），且总留量 Δ_{al} 的长度应大于焊件烧损量。

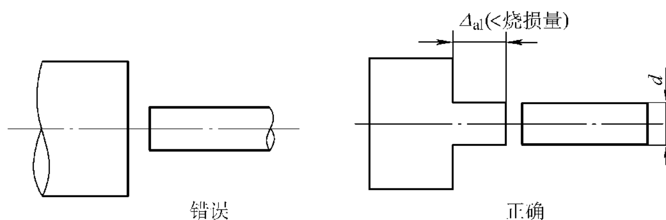


图 10-10 实心棒料对焊

2）T 形板对接为使对口处有相同的温度场分布和变形条件，可在直板侧开两个小缺口（图 10-11）。

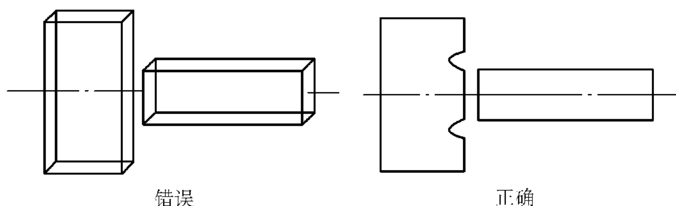


图 10-11 T 形板对接

3）实心棒和圆管对焊，应将实心棒加工成与圆管截面相同的形式（图 10-12）。

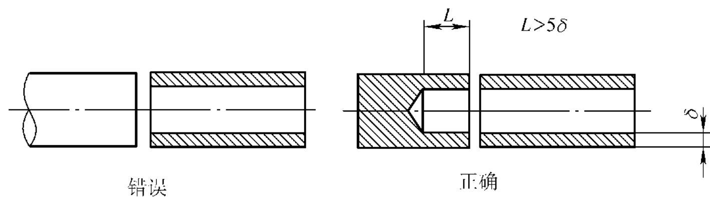


图 10-12　实心棒和圆管对焊

4）圆环与圆棒对焊，圆环件上应有过渡，以便两焊件对接端面相同或相近（图 10-13）。

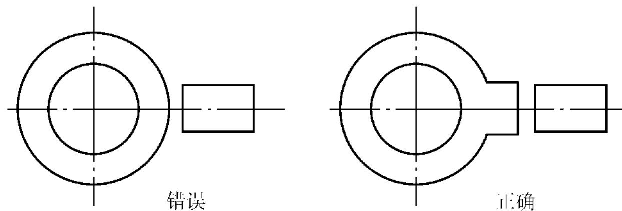


图 10-13　圆环与圆棒对焊

要点 223　焊件装夹不应产生轴线的错位或偏斜

只有焊件正确对中才能保证接合面闪光均匀，焊接牢靠。焊件轴线错位或偏移使闪光在相对着的区域发生加热不均，而且在顶锻时零件还会相互滑动，使焊件偏斜或顶锻失稳（图 10-14）。

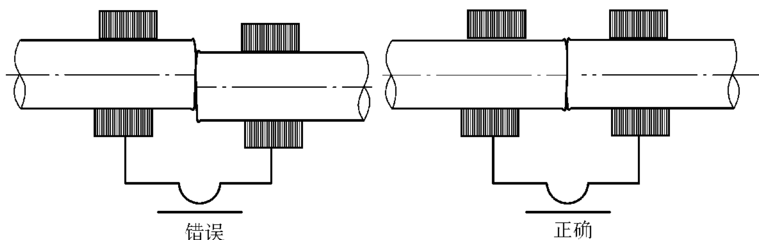


图 10-14　焊件装夹轴线错位或偏斜造成缺陷

要点 224　闪光对焊过程中加热和顶锻参数应选择适当

闪光对焊的主要焊接参数包括焊件的伸出长度、闪光留量、闪光速度、电流密度、顶锻速度和压力、顶锻留量、预热温度和时间等若干项。其中以影响加热和顶锻的诸因素最为重要。合理选择焊接参数可以获得几乎与母材性能相当的优质接头，选择不当也会产生过烧、空洞、裂纹等缺陷（图 10-15）。

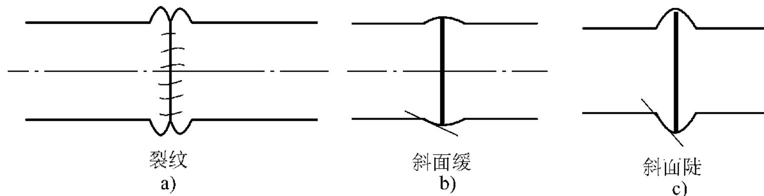


图 10-15　加热和顶锻规范选择不当造成缺陷

a）加热不足　b）加热或顶锻不足　c）合格的加热与顶锻

要点 225　非直线对中接头对焊时夹角不宜过小

闪光对焊非直线对中（斜角）接头时（图 10-16），由于接头在斜角顶点处的金属体积逐渐减小，因而顶点处的闪光和顶锻与其他部位会有很大差异。若斜角接头夹角过小，顶点处没有足够的阻挡能力，在挤压力过小的条件下液态金属冷却凝固，会形成疏松组织。

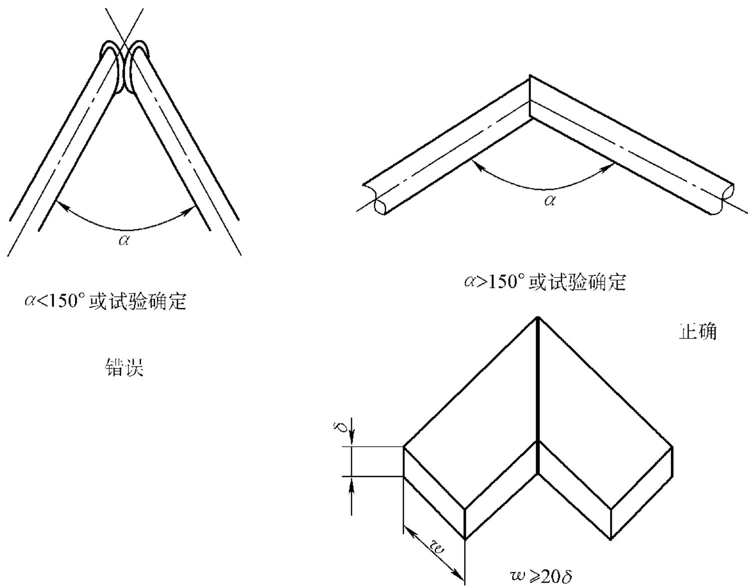


图 10-16　非直线对中的接头夹角

要点 226　异种金属对焊的焊件伸出长度不同

两种不同材料的金属对焊，两材料的导热性和熔点会不同，焊接时两材料的烧损量也会有很大差异。为了有利于接头成形，必须将烧损多的焊件伸出长度增加（图 10-17）。例如铝铜对焊，在焊接过程中铝的烧损量是铜的 10 倍，因而铝的伸出长度应是铜的 10 倍，其他可根据试验来确定两种不同材料的伸出长度。

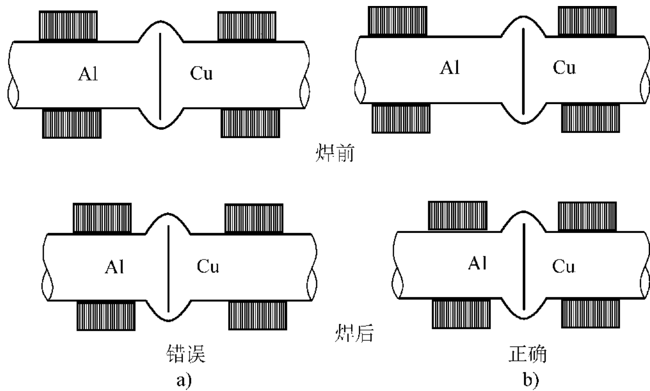


图 10-17　异种金属对焊焊件的伸出长度应不同

a）焊前伸出长度相同　b）焊前伸出长度不同

要点 227　环形件对焊的方法

环形焊件的常规对焊方法是如图 10-18 所示的单口焊接。

此方法不可避免环形自身的分流及反变形弹力的影响，需要增大焊接电流和顶锻力，对设备要求提高。环形件对焊时，可采取以下特殊措施：

1）直径小的圆环可采用两个接口同时对焊，如图 10-19 所示。

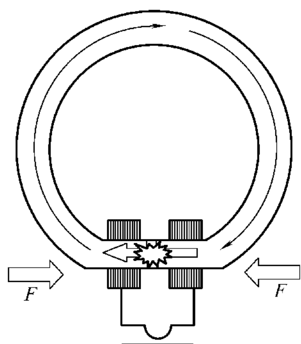


图 10-18　常规对焊法

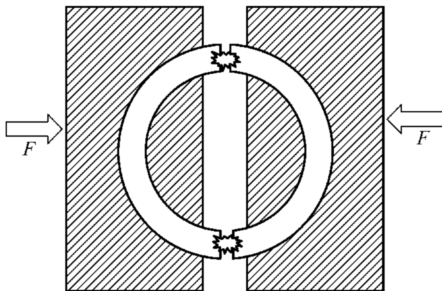


图 10-19　两个接口同时对焊法

2）大断面环形件可在环背处安装一个拆卸方便的环形铁芯以增加分路感抗，减少分流，如图 10-20 所示。

3）铜、铝材料做成的环形焊件可直接作为变压器的二次绕组，焊后拆下活动铁芯，这样可完全消除分流，如图 10-21 所示。

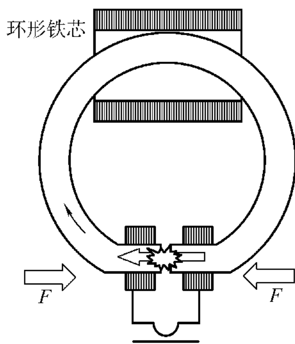


图 10-20　增加分路感抗对焊法

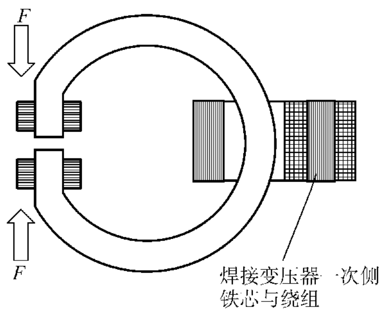


图 10-21　焊件自身为二次侧对焊法

10.2　闪光对焊设备选择与使用要点

要点 228　大型闪光对焊机的选用要点

现代的大尺寸平板闪光对焊机（图 10-22）是一个较复杂的机电一体化焊接设备，选用这种大型设备时要着重考查以下几点：

1. 机械系统功能的完善性

1）主机架承载能力是否高、防尘性能是否好、传递效率是否高。

2）是否具有焊件的绝对定中和相对定中装置；电极与夹头的导电性、耐磨损性与刚性是否高。

3）顶锻推进调整机构是否根据不同的板厚来设置的，调整量如何，调整量是否精确；

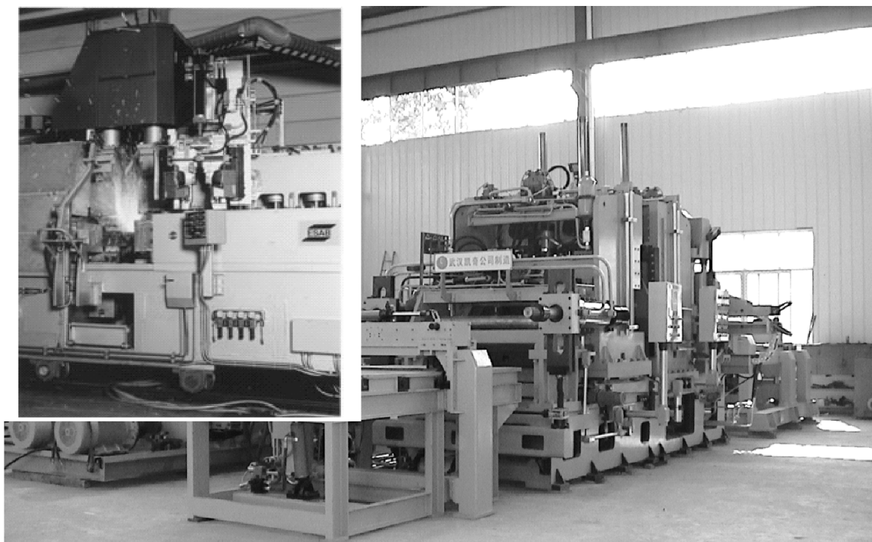


图10-22　大型宽板闪光对焊机（武汉凯奇、左上角为ESAB）

是否具有大尺寸平板冲孔及辅助夹紧装置，这是保障大尺寸平板焊接定位的重要装置。

4）是否具有大尺寸平板定缝刀装置，它是用来控制焊接板料头部尺寸伸出长度的装置，根据不同板料厚度，伸出长度就有所改变，一般板料厚的情况，伸出长度相对长些，定缝刀截面为锥形，当定缝刀行程越长，带头、带尾伸出长度越短，反之带头、带尾伸出长度越长，定缝刀下行到位后，两边有刚性定位，防止带头、带尾对齐时撞坏和位移。它由液压缸驱动，在光电控制下做上下运动。

5）具有焊疤清除系统：当带头、带尾在闪光焊接成形后，焊缝处堆积起一条焊疤，这时钢带牵引小车上的液压夹紧机构将焊好的钢板夹紧，牵引小车在丝杆的传递下将所焊钢板焊缝移动一个距离，也就是把堆积的焊疤移到刨光刀装置中心。这道焊疤必须刨光，当焊疤在牵引小车的作用下移到刨光刀中心时，压料夹钳自动下落夹紧板料，同时有上、下刨刀（拉刀）在液压缸的推动下分层切削，将上、下焊疤刨光。拉刀后部还带有清渣扫把，将刨渣清除干净。

6）是否具有月牙剪：当宽板与窄板对接焊后，两边都存在板头不齐，一是焊接处应力集中，容易断裂；二是前进中容易刮擦设备。用月牙剪剪去不齐的板头，板料的抗拉强度就大大提高，月牙剪是由液压缸驱动做上、下运动和左、右运动。

7）机座是重要构件，一般为焊接构件，焊后是否做了人工时效处理，以保证构件稳定性。机座是否有较高的加工精度，以保证焊机最终的装配质量。

8）是否具有良好的润滑系统：现代的闪光对焊机采用集中多点供脂、油系统，利用适当的泵压，定时、定量、定点地输送润滑脂、油到设备的各个润滑点，保证各摩擦副维持可靠和足够的油膜，从而能持久正常的运行。

2. 焊接控制系统的先进性

1）闪光对焊电流分段控制系统。针对闪光对焊的特点，需对焊接电流在时间上分两段控制（图10-23），第一段进行闪光焊接过程，此时，闪光电流的特点是维持相对较小数值（因闪光过程焊件间并未短路）但很稳定；进入顶锻过程时，因焊件完全接触，电源被短

路，因此顶锻电流较大，但顶锻电流的周波数很少，一般只有 3 ~ 5 周波。

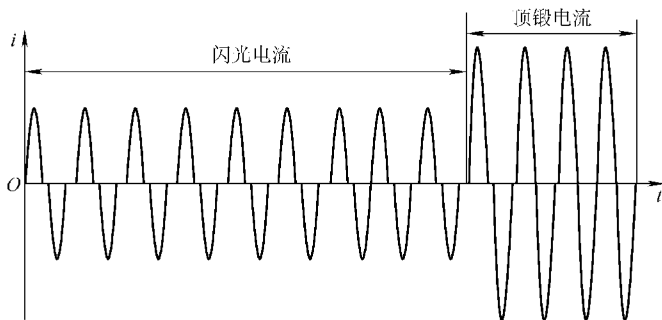


图 10-23　闪光对焊机的焊接电流波形

2）具有大功率晶闸管交流开关的电流微机控制系统。由于闪光电流、顶锻电流都须精确控制，因此工频交流闪光对焊机的主电路中，都须采用大功率晶闸管交流开关作为电流控制的功率器件。而且要有闪光电流、顶锻电流的微机控制系统。

3）整机所有程序动作与附属联动设备与机构的 PLC（可编程序控制器）控制。由于一台大型闪光对焊机，连同附属联动设备在内会包括如下多个系统：焊接电源系统、液压系统、气动系统、冷却系统和电气控制系统。

这些大型闪光对焊机的电气控制系统，往往采用可编程控制器（PLC）进行整机的动作程序控制。例如，武汉凯奇公司近年开发的可对接 1600mm 宽钢板的大型闪光对焊机（图 10-22），就使用了电气性能优良的西门子产 PLC 作为整机所有程序动作与附属联动设备与机构的主程序控制器，而焊接电源系统中，对闪光电流和顶锻电流的控制采用了上海 – 梅达产的恒电流型微机控制系统。

要点 229　中小型闪光对焊机的选用要点

中小型闪光对焊机是利用电动机通过一套减速器带动凸轮转动，从而使凸轮顶轮与顶杆在 *x* 轴方向产生焊件所要求的闪光送进和顶锻。因为焊件与凸轮顶杆之间是通过夹头刚性连成一体的（图 10-24），因此凸轮顶杆的位移就是动夹头与焊件的位移。

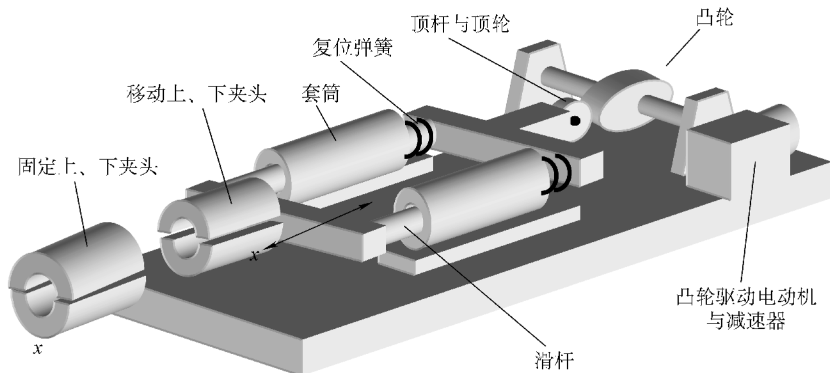


图 10-24　凸轮闪光对焊机动夹头位移伺服机构示意图

如果焊件所要求的位移曲线如图 10-25 所示，即由零时刻 t_0 开始计时，在 t_1 时刻，焊件位移到 A_1 点，…，t_{10}时刻焊件位移到 A_{10}点，…，那么 A_1 点，…，A_{10}点，…，所连成的曲线就是在 x 轴方向产生焊件所要求的位移曲线。

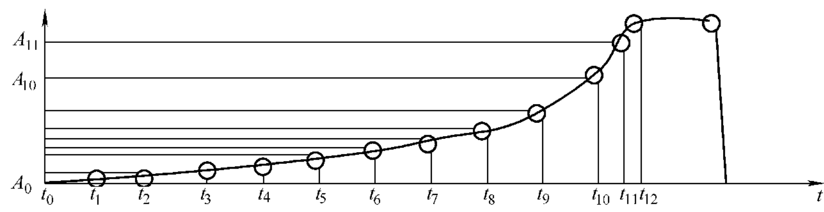


图 10-25　焊件所要求的位移曲线

将位移曲线作为凸轮的轮廓曲线（图 10-26），并使凸轮以一定的角速度 ω 转动，则总会使凸轮顶杆在 x 轴方向产生焊件所要求的位移曲线。

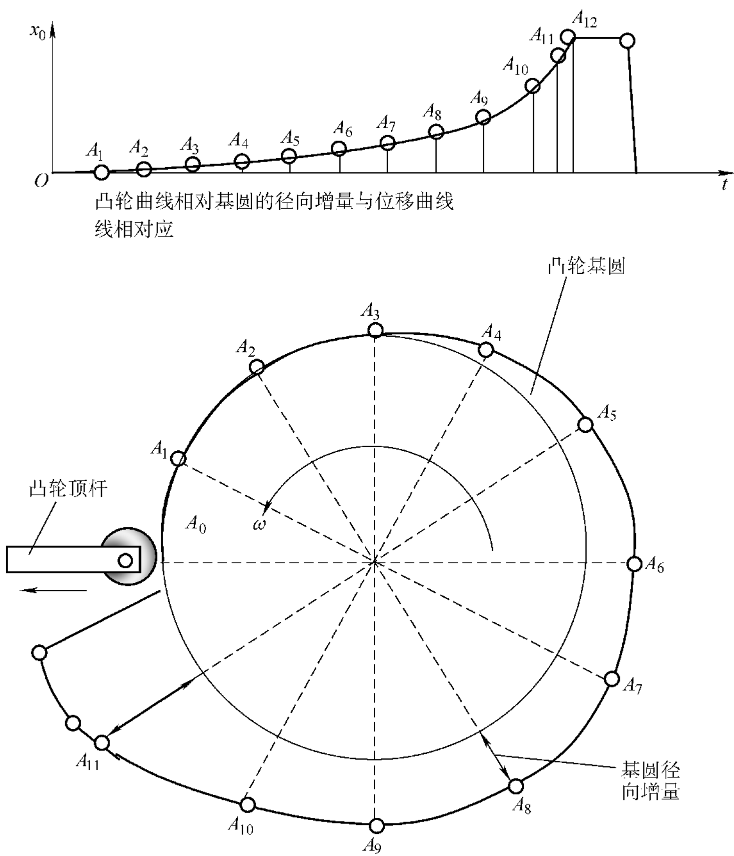


图 10-26　凸轮曲线相对基圆径向增量就是动夹头位移曲线增量

为了得到合适的角速度 ω，在实际的凸轮闪光对焊机中，多采用凸轮转动直流电动机驱动系统。

在实际的凸轮闪光对焊机中，凸轮位移曲线的 A_1—A_{10}段（位移曲线斜率相对较小的曲线段）称为“闪光曲线段”，“闪光曲线段”往往是一条抛物线形状的二次曲线。

凸轮位移曲线的 A_{10}—A_{11}段（位移曲线斜率相对较大的曲线段）称为“顶锻曲线段”。

在一台实际的闪光对焊机中，实现动夹头抛物线形状的二次曲线闪光曲线段并非很容易，这是因为实际闪光对焊机的动夹头位移伺服控制机构的质量往往很大。

中、小功率（50～500kV·A）闪光对焊机一般可采用凸轮-顶杆副传动；但对大功率闪光焊机来说，限于凸轮-顶杆副传递的力有限，就须改用液压传动实现动夹头抛物线形状的二次闪光曲线。

综上所述，使用凸轮顶杆的闪光对焊机，为了获得良好的焊接质量，就必须对凸轮曲线的焊接性能作多次试验才能确定最合适的凸轮；也就是说，闪光对焊机生产厂家提供的凸轮不一定是最佳设计。

要点230　铝合金材料闪光对焊机的选用要点

铝合金材料的闪光对焊与碳钢材料相比有很大区别，主要体现在以下几点：

1）由于铝合金材料闪光过程中，接头部位的热量散失远比碳钢材料快得多，这样一来，使用工频50Hz交流电源很难得到满意的焊接质量。近年来，国外多采用交流方波电源的闪光对焊机（图10-27）来焊接铝合金材料结构，图10-27中显示的就是对铝合金钢圈的焊接接头质量状态。

交流方波电源优于工频50Hz交流电源的主要技术优势在于：交流方波电源提供的闪光电流是一种没有过零点的电流，这就可以弥补铝合金材料闪光过程热量散失快的特性；另外，高于50Hz的中频（300～500Hz）可获得非常细腻的闪光。

2）由于铝合金材料在闪光过程中，一旦氧化就形成熔点比铝合金本身高出几倍的氧化物，这些高熔点氧化物存在焊缝中，就形成各种焊接缺陷，为此，铝合金材料要求更快速闪光和更大顶锻力。

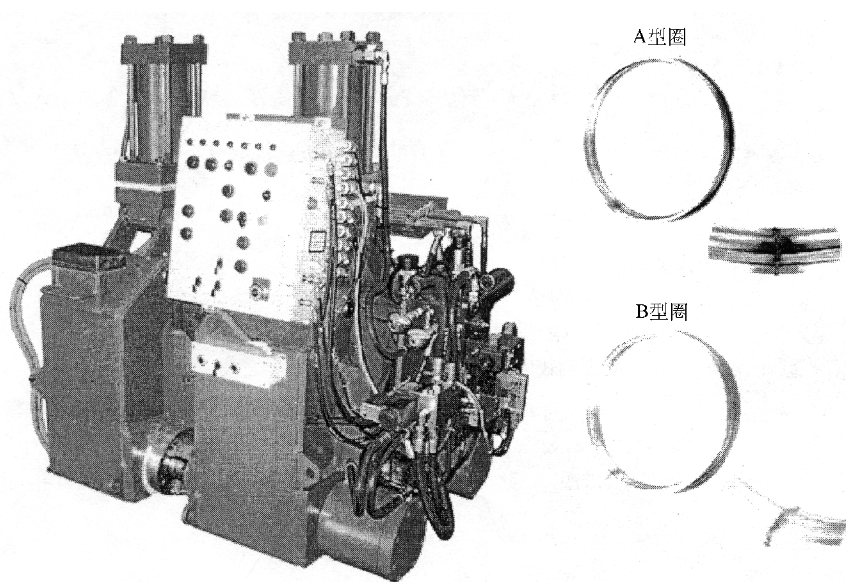


图10-27　方波电源供电的闪光对焊机与焊接的铝合金钢圈

参考文献

［1］卢本，等. 焊接自动化基础［M］. 武汉：华中工学院出版社，1987.
［2］卢本，等. 金属焊接技术禁忌［M］. 北京：机械工业出版社，2008.
［3］卢本，等. 检测与控制工程基础［M］. 北京：机械工业出版社，2001.
［4］卢本，等. 材料成形过程的测量与控制［M］. 北京：机械工业出版社，2005.
［5］卢本，等. 汽车机器人焊接工程［M］. 北京：机械工业出版社，2006.
［6］姜焕中，等. 焊接方法与设备：第一分册［M］. 北京：机械工业出版社，1981.
［7］赵熹华，等. 压力焊［M］. 北京：机械工业出版社，1992.

ISBN 978-7-111-28685-1

封面设计/电脑制作：姚毅

上架指导：机械工程/焊接



地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销售一部：(010)68326294
销售二部：(010)88379649
读者购书热线：(010)88379203
邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

定价：29.00元